edizione SPECIALE 2014/2015

Clima e agricoltura: storia, attualità e prospettive di un rapporto inscindibile

Luigi Mariani

Museo Lombardo di Storia dell'Agricoltura
Università degli Studi di Milano- Disaa
luigi.mariani@unimi.it

per

1590: Trovandosi la Toscana afflitta da grandissima Carestia, e non essendo potuti ottenere Grani dalla Sicilia, dal Levante, dalla Barberia, state le male Ricolte, che erano state ancora in quei Paesi soliti essere Granaio dell'Italia, il serenissimo Granduca Ferdinando I, con somma prudenza riflettè, che le medesime Cause Meteorologiche, dovevano aver cagionato una copiosissima Ricolta nei paesi più settentrionali di noi. Perciò si voltò alle più remote Provincie verso il Baltico, allora non molto praticate, e spedì per le poste a Danzica Riccardo Riccardi Gentiluomo fiorentino, ricchissimo e principalissimo Mercante, per incettar Grani e Biade, ed in questa maniera, da niun'altro prima immaginata, gli riuscì di metter l'abbondanza nella Toscana.
1765: il freddo "fra le ore 2 e 4 della mattina del 14 aprile 1765 in momenti bruciò nelle pianure della Toscana gli Occhi delle viti, dei Peschi dei Fichi e dei Noci...", tanto che " da molti anni in qua abbiamo perso la bussola e non si riconoscono più le stagioni...abbiamo avuta la primavera nell'inverno, l'inverno nella primavera, la primavera nell'estate e l'estate è iniziata a mezzo settembre". Insomma "l'ordine antico delle stagioni pare che vada pervertendosi, e qui in Italia è voce comune, che i mezzi tempi non sono più."

> *Giovanni Targioni Tozzetti, 1767. Cronica meteorologica della Toscana per il tratto degli ultimi sei Secoli relativa principalmente all'Agricoltura (Alimurgia, pt. III).*

Nel 1788 non c'è stato inverno, la primavera non è stata favorevole alle colture, ha fatto freddo, la segale non è stata buona, il grano è stato abbastanza buono ma il caldo eccessivo ha disseccato i chicchi, cosicché il raccolto di grano era molto scarso....; il 13 luglio c'è stata un'ondata di grandine che, cominciata dall'altra parte di Parigi, ha attraversato tutta la Francia fino alla Picardia e ha fatto grossi danni; la grandine pesava 8 libbre e ha falciato grano e alberi al suo passaggio; si estendeva su una fascia larga due leghe e lunga 50.....; invece la vendemmia è stata buonissima e i vini eccellenti. L'uva è stata raccolta a fine settembre; il vino valeva 25 lire dopo la vendemmia e il grano 24 lire dopo il raccolto.

> *Dal diario di un viticoltore dei dintorni di Meaux (fonte: Emmanuel Le Roy Ladurie, 2011. Les Fluctuations du climat de l'an mil à aujourd'hui, avec Daniel Rousseau et Anouchka Vasak, Fayard, 332 pages).*

1. Premessa

Uno dei concetti fondanti della Scienza nuova di Giambattista Vico è quello per cui non si può comprendere un fenomeno se non se ne indagano le origini e l'evoluzione nel tempo[1]. In tal senso lo studio della storia dell'agricoltura è essenziale per comprendere l'agricoltura di oggi, rivelandosi inoltre elemento importante al fine di operare scelte razionali con riferimento all'agricoltura di domani, quella che nutrirà il pianeta nel 2050 e oltre.
Chi scrive queste note è un agronomo e tale matrice culturale si riverbera nel fatto che il testo sarà improntato ad una visione ampia e non settoriale, e pertanto un tantino "fuori moda" rispetto ad una scienza che vede nella sempre più elevata specializzazione uno dei propri paradigmi. D'altronde, un vecchio adagio dice che "l'agronomia si fa con gli stivali" per ricordarci che si tratta di una scienza profondamente intrisa di sapere pratico e che è chiamata a cogliere l'agro-ecosistema in modo complessivo e in pieno campo. Inoltre chi scrive si occupa di climatologia applicata all'agricoltura che è una branca della climatologia, scienza squisitamente interdisciplinare come dimostra il fatto che è stata fondata all'inizio del XIX secolo da Alexander von Humboldt (padre della geografia fisica), è stata poi sviluppata a cavallo fra XIX ed il XX da Wladimir Koeppen (un botanico) e che ha infine avuto in Hubert Lamb, studioso formatosi in scienze naturali e geografia, uno dei suoi maggiori esponenti nel XX secolo.
Il legame fra climatologia e storia dell'agricoltura deriva dal fatto che in agricoltura un ruolo chiave è da sempre giocato dalla meteorologia e dal clima. Ciò in quanto le variabili atmosferiche sono variabili guida essenziali per i vegetali ed in tal senso assumono un ruolo chiave nel determinare la produzione delle colture in quantità e qualità. Ciò spiega perché nei paragrafi a seguire sarà introdotto un semplice modello quantitativo di pianta coltivata, atto a mettere in luce risorse e limitazioni legate alle variabili guida atmosferiche e non.
Obiettivi specifici di questo scritto sono i seguenti:

1. descrivere in estrema sintesi l'avventura dell'agricoltura in Europa e nel Mediterraneo dalla sua "invenzione" (la rivoluzione neolitica, poco più di 10.000 anni orsono) ad oggi;
2. mostrare come tale avventura sia indissolubilmente legata al clima europeo ed alla sua variabilità
3. sviluppare alcune considerazioni sui legami fra clima e storia, ponendo il clima fra le variabili guida fondamentali delle vicende umane e fornendo alcuni esempi di come il climatologo possa contribuire alla ricostruzione delle vicende storiche
4. porre in risalto il tema della vulnerabilità dei sistemi agricoli ed umani al clima, traendo da ciò alcune conseguenze pratiche in termini di rischio e di adattamento
5. sviluppare infine alcune considerazioni in relazione ai temi della sicurezza alimentare globale (tema centrale di Expo 2015) e della tutela dell'ambiente (tema quest'ultimo che l'opinione pubblica, a torto o a ragione, sempre più sovente associa ai livelli atmosferici di anidride carbonica).

Per raggiungere tali obiettivi è stato indispensabile porre in relazione fra loro aspetti legati a varie discipline scientifiche quali la storia, l'agronomia, la genetica vegetale e umana, la climatologia, la geologia, la palinologia, la dendrocronologia e la glaciologia. Il rischio insito in operazioni di ampio respiro come questa è quello di giungere ad una struttura solo parzialmente consistente, un rischio che ad avviso di chi scrive vale la pena di correre in virtù della rilevanza pratica dei temi in

[1] Scrive infatti il Vico: "Per la Degnità che <<le scienze debbono incominciare da che n'incominciò la materia>>, cominciò d'allora ch'i primi uomini cominciarono a umanamente pensare, non già da quando i filosofi cominciarono a riflettere sopra l'umane idee." (Giambattista Vico, 1725. La scienza nuova - capitolo dedicato al Metodo. - Per "Degnità" l'autore intende qui "Assioma").

discussione.
Occorre infine precisare che l’ossatura di questo scritto deriva da un lavoro pubblicato sulla Rivista di Storia dell’Agricoltura (Mariani, 2006), rispetto al quale è stato operato un consistente aggiornamento onde adeguarlo rispetto alle più recenti acquisizioni presenti in bibliografia e rispetto al tema di Expo 2015.

2. Clima, Paleoclima e Agricoltura

Lo stretto legame fra clima e produzione agricola è a tutti intuibile almeno a livello qualitativo mentre per una valutazione quantitativa del fenomeno è utile osservare il diagramma in **figura 1**, il quale descrive l’andamento della produzione di frumento negli Stati Uniti d’America dal 1890 al 1997, secondo dati riportati dall’USDA[2], Ministero dell’Agricoltura statunitense. Tale diagramma mostra andamenti analoghi a quelli riscontrabili nelle statistiche produttive delle diverse colture in ogni parte del mondo e consente di osservare che la produzione di frumento, grossomodo stazionaria intorno a valori medi di 10 q/ha dal 1890 al 1940 circa, ha in seguito manifestato una crescita relativamente regolare ed il cui merito è da attribuire in uguale misura al progredire delle tecniche colturali (lavorazioni del terreno, concimazioni, trattamenti fitosanitari, ecc.) ed al miglioramento genetico. Tale andamento generale è tuttavia accompagnato da un’ampia variabilità interannuale (ad esempio ai 13.5 q/ha del 1965 seguono i 22 q/ha del 1966) che è in larga misura da attribuire al clima. Tale variabilità era assai più ampia nei sistemi colturali del passato - meno “adattabili” di quelli attuali - tanto da giustificare la comparsa dello spettro della fame anche nel cuore dell’Occidente: solo 156 anni ci separano infatti dalle ultime morti per fame in Europa, durante la grande carestia che imperversò in Irlanda negli anni che vanno dal 1844 al 1847 (Cattaneo, 1844, 1847).
Un considerevole interesse riveste la possibilità di estendere l’indagine sui rapporti fra clima e agricoltura all’intero olocene, e cioè a tutto il periodo che si estende dalla fine dell’ultima glaciazione ad oggi. Le ragioni d’interesse di una tale operazione sono molteplici e fra queste si segnalano:

- la possibilità di indagare i legami esistenti fra clima e storia umana, ricorrendo a metodi già definiti da storici e climatologi come Monterin (1937), Carpenter (1978), Le Roy Ladurie (1976), Pinna (1996) e Lamb (1977);
- la possibilità di ricostruire i livelli produttivi delle agricolture del passato e le limitazioni cui i nostri progenitori hanno dovuto far fronte per garantirsi la sicurezza alimentare. In tal senso occorre segnalare il pionieristico lavoro di Bruno Oliva (1930) e quello di Araus et al. (2003);
- la possibilità di analizzare gli effetti ecosistemici della variabilità climatica olocenica e la loro (es: grandi siccità, avanzata dei deserti nelle aree tropicali, avanzate e arretramenti glaciali alle medie latitudini) e come questi si siano ripercossi sui sistemi produttivi agricoli (Le Roy Ladurie, 1976 e 2004).

In complesso si ravvisa la possibilità di ricavare dall’indagine del passato elementi utili ad assumere decisioni utili a garantire a livello globale sia la sicurezza alimentare sia la sicurezza nell’approvvigionamento di beni di consumo di origine agricola essenziali per l’umanità (si pensi ad esempio al vestiario prodotto a partire da cotone, lino, lana, seta e altre fibre tessili di origine

[2] sito internet dell’USDA (http://www.ars.usda.gov)

agricola).

L’estensione dell’indagine climatica all’intero olocene ci pone di fronte al problema di indagare periodi assai più remoti rispetto agli ultimi tre secoli, che sono gli unici per i quali si dispone di serie strumentali di dati meteorologici. A tale proposito si deve rammentare che la prima rete meteorologica a livello mondiale, operante dal 1657 al 1667, fu quella toscana dell’Accademia del Cimento. In questo vanto italiano c’è lo zampino di Galileo Galilei, il quale utilizzò la meteorologia (insieme all’astronomia) come banco di prova della sua nuova scienza fondata sull’osservazione della realtà e sui modelli. Nacquero così i primi strumenti di misura meteorologica moderni e cioè il termoscopio, inventato da Galileo, il barometro di Evangelista Torricelli ed il pluviometro di Benedetto Castelli; nacque altresì l’idea di utilizzare tali strumenti per indagare in modo sistematico la variabilità dei fenomeni atmosferici a livello italiano ed europeo (alla rete del Cimento afferirono infatti anche alcune stazioni estere come ad esempio Parigi).
La serie strumentale ininterrotta più lunga del mondo oggi disponibile è la serie termica dell’Inghilterra Centrale, che si estende dal 1659 ai giorni nostri, un'inezia rispetto alla vita del nostro pianeta (se l’esistenza della Terra fosse di 24 ore, gli ultimi 300 anni rappresenterebbero solo 5,76 millesimi di secondo).
Il problema dell’assenza di dati strumentali può essere almeno in parte superato ricorrendo alla paleoclimatologia, branca della climatologia che lavora su periodi non coperti da serie storiche di dati meteorologici. Fra tali metodi si può ricordare in primo luogo lo studio delle fonti storiche. Ad esempio nel caso dell’Italia sono noti gli studi compiuti sulle serie delle piene del Tevere riportate dall’annalistica latina ovvero sulle registrazioni dei congelamenti del Po o della laguna di Venezia (Camuffo, 1990).
Altri metodi paleoclimatici si fondano sullo studio di serie correlate (proxy series) quali quelle provenienti da depositi alluvionali (fluviali, lacustri, marini), dalle torbiere, dalle carote glaciali, dalle morene dei ghiacciai, dalle cerchie di accrescimento di alberi, dai pollini fossili, ecc.
Uno degli elementi più caratteristici di un tale approccio è il fatto che esso necessita di un forte spirito interdisciplinare, che prevede la collaborazione di storici, climatologi, glaciologi, geologi, botanici, ecc. Si pensi ad esempio a quanti spazi di interdisciplinarietà apra, nell’analisi di serie storiche di cerchie di accrescimento degli alberi, la necessità di distinguere il segnale legato all’effetto delle variabili meteorologiche (temperatura e precipitazione in primis) dal rumore legato ad esempio a interferenze antropiche, ad avversità biotiche e abiotiche o a competizione fra individui vegetali della stessa specie o di specie diverse.

Box - Agricoltura e ciclo del carbonio – per un futuro veramente verde

Fin dalla loro comparsa le piante esercitano un ruolo chiave nel ciclo del carbonio sul nostro pianeta (Mariani, 2009). Per capire il significato quantitativo di ciò si possono citare i seguenti dati di fatto:
1. l'aumento di CO_2 rispetto al fase di pre-industriale ha finora portato ad un aumento del 20-40% della produzione agricola mondiale annua (Sage e Coleman, 2001; Araus et al, 2003), più che mai vantaggioso in termini di sicurezza alimentare globale;
*2. ogni anno, durante l'estate boreale, si assiste ad un decremento di circa 6 ppmv nella concentrazione atmosferica di CO_2 (**figura 2**), il che costituisce la prova lampante dell'efficacia della vegetazione nella regolazione del segmento atmosferico del ciclo del carbonio;*
3. la più elevata disponibilità di CO_2 sta dando luogo ad un arretramento generalizzato dei deserti e ad un rinverdimento del pianeta (Herrmann et al., 2005; Helldén e Tottrup, 2008).
Questi fatti dimostrano che il ricorso all'agricoltura per stabilizzare i livelli atmosferici di CO_2 è una prospettiva concreta. In tal senso occorre rammentare che la vegetazione terrestre assorbe ogni anno circa 198 Gigatonnellate di CO_2 e che di queste circa 1/3 sono già oggi assorbite dai vegetali coltivati (DeLucia et al., 2014).
In virtù di ciò è opportuno che alla definizione classica di agricoltura (coltivazione di piante e allevamento di animali finalizzato a produrre cibo e beni di consumo) si affianchi la definizione fisiologica secondo cui "l'agricoltura è da intendere come governo del ciclo del carbonio da parte dell'uomo" (Forni, 2014).
Per "governare" si intende qui chiudere il ciclo del carbonio mantenendo in condizioni di relativa stazionarietà i suoi valori nei diversi comparti (atmosfera, terreno, acque, ecc.). E mentre è ben compreso il ruolo dell'agricoltura per quanto concerne il carbonio nel suolo (infatti al terreno ritornano i residui colturali ed i reflui zootecnici e lo stesso avveniva in passato con i reflui urbani, i quali purtroppo oggi sfuggono ad un tale utilizzo per ragioni che sarebbe qui troppo lungo indagare) tarda a essere colto il ruolo che l'agricoltura gioca e ancor più potrebbe in futuro giocare nei confronti del carbonio atmosferico. In tal senso gioverebbe riflettere sul fatto che in pianura padana un ettaro di mais coltivato facendo ricorso alle varietà ed agrotecniche aggiornate produce 14 tonnellate di granella e per far ciò assorbe una quantità enorme di CO_2 (ben 41 tonnellate); e qui lascio al lettore ragionare su cosa tutto ciò significhi in un mondo in cui si coltivano 177 milioni di ettari di mais. Un'agricoltura veramente innovativa in termini di genetica e di tecniche colturali potrebbe in pochi anni raddoppiare le rese del mais (e del frumento, e del riso e dalla canna da zucchero,..) raggiungendo il seguente duplice obiettivo:
- soddisfare le esigenze di cibo della popolazione mondiale, che nel 2050 raggiungerà i 9,3 miliardi di individui
- utilizzare i polimeri di origine vegetale in luogo degli idrocarburi (carbone, petrolio, gas naturale e similari) per alimentare le filiere energetiche, delle materie plastiche e di tutti quei prodotti che sono oggi essenziali per la vita umana.
In sintesi dunque, ammesso e non concesso che l'incremento dei livelli atmosferici di CO_2 sia un fattore climaticamente negativo, una risposta razionale al fenomeno consiste nel rafforzare il ruolo dell'agricoltura come sistema per il governo del ciclo del carbonio (Burney et al., 2010; Forni, 2012), il che conferma in sostanza le considerazioni del fisico Freeman Dyson (2007) secondo il quale per arrestare la crescita della CO_2 in atmosfera occorrerebbe solo far crescere la biomassa, riducendo il problema della CO_2 al rango di problema di gestione agricolo-forestale del territorio.
In sostanza quel che ci si prospetta è un futuro verde nel pieno senso della parola, e non quello pieno di pannelli solari e di pale eoliche oggi perorato (e finanziato) da una pletora di organizzazioni nazionali ed internazionali. Tale futuro richiede tuttavia una piccola rivoluzione copernicana che consiste nel ribaltamento dei dogmi oggi dominanti e che collocano la CO_2 nel ruolo di inquinante, ignorando così il suo ruolo di mattone fondamentale della vita sul pianeta.

3. Un modello di pianta coltivata

L'attività agricola si fonda sulla reazione chimica fra sei molecole di CO_2 e sei molecole d'acqua a dare una molecola di glucosio e sei molecole di ossigeno

$$6\ CO_2 + 6\ H_2O + energia \rightarrow C_6H_{12}\ O_6 + 6\ O_2$$

Tale reazione è il cuore del processo di fotosintesi e l'energia ad essa necessaria è fornita da una sessantina di fotoni (quanti di luce solare) per ogni molecola di glucosio assimilata.
Altrettanto necessario alla vita è la reazione inverso (respirazione), liberatrice di anidride carbonica ed acqua, attraverso il quale l'energia immagazzinata negli zuccheri con la fotosintesi viene liberata a vantaggio di tutti gli organismi viventi (piante, animali, uomo). La crucialità del ciclo del carbonio per l'agricoltura induce ad una definizione dell'attività agricola come "governo del ciclo del carbonio da parte dell'uomo, che lo potenzia nlel sue cruciali fasi di fotosintesi e respirazione con lo scopo di ottenere la quantità richiesta di cibo e beni di consumo"[3], fatto questo che è denso di conseguenze e discusso nel BOX *Agricoltura e ciclo del carbonio – per un futuro veramente verde*.
L'approccio cognitivo basato su modelli concettuali e matematici assume un ruolo sempre più rilevante in ambito scientifico e tecnologico. Per rendere più chiaro ed efficace tale concetto in relazione al settore agronomico può essere utile provare ad immedesimarsi in una pianta cercando di coglierne finalità, esigenze e vincoli, con lo scopo di pervenire ad un modello concettuale di coltura da tradurre poi in un modello matematico che ci consenta di stimare quantitativamente la produttività a livello di campo.
L'obiettivo principale di ogni vegetale è quello di portare alla maturazione i semi, dal che discendono svariati fenomeni non sempre compatibili con le esigenze agronomiche (es:, indesiderato accorciamento della durata del ciclo nelle colture, con decurtazione della biomassa totale prodotta, indesiderati passaggi alla fase riproduttiva in ortaggi da foglia con impossibilità di commercializzare il prodotto).
I vegetali coltivati si collocano fra terra e cielo (le radici nel terreno, il fusto e la chioma nell'aria) e fanno parte di un ecosistema complesso, il che comporta un quantità rilevante di interazioni con altri organismi, vegetali e animali, anch'essi viventi all'aperto. Le piante hanno esigenze radiative, termiche, idriche e di nutrienti chimici (macro e microelementi). Più nello specifico la chioma necessita di luce (radiazione solare), di condizioni termiche favorevoli ai processi biochimici e di condizioni meteorologiche favorevoli alla traspirazione. Inoltre l'apparato radicale necessita di acqua, di nutrienti, di aria, di condizioni termiche favorevoli ai processi biochimici ed infine di una matrice solida sufficientemente consistente per garantire l'ancoraggio delle radici.
Salvo eccezioni rappresentate dalle colture protette, praticate in serre o tunnel, le piante coltivate trascorrono all'aperto tutto il loro ciclo, in un ambiente oltremodo variabile e che impone molteplici limitazioni rispetto allo sviluppo dei vegetali, quali il gelo, le temperature elevate, la siccità, le carenze nutrizionali, la grandine, il vento, i parassiti vegetali ed animali, le malerbe, l'eccesso idrico nel terreno. In proposito, a titolo di esempio, si veda il diagramma in **figura 3**, che riporta le temperature medie giornaliere di Pristina, capoluogo del Kosovo, località balcanica sita a

[3] Gli strumenti concettuali atti ad approdare ad un tale visione sono disponibili da oltre 2 secoli e si debbono ad un grande scienziato elvetico, Nicolas Theodore de Saussure, massimo fisiologo vegetale della prima metà del XIX secolo, il quale nel suo testo del 1804 "*Réchérches chimiques sur la vegetation*" dimostrò per primo che la nutrizione carbonica dei vegetali, che fino ad allora si pensava avvenisse tramite l'assorbimento radicale del carbonio presente nel suolo (teoria degli umisti), è in realtà affidata all'anidride carbonica presente nell'atmosfera ed assorbita attraverso gli stomi.

42°N, la stessa latitudine di Roma e quelle della città svizzera di Lugano, a 46°N. Si noti che a gennaio una coltura che vegeti a Pristina (ad esempio un cereale vernino come il frumento) potrebbe trovarsi di fronte ad un'assai mite +15°C oppure ad un rigidissimo –22°C. E' evidente che nel primo caso la coltura non dovrà confondere la temporanea mitezza con l'arrivo della primavera, evitando le conseguenze disastrose di una ripresa vegetativa fuori stagione, e nel secondo dovrà disporre dei meccanismi fisiologici atti ad evitare la morte per gelo.

Si noti inoltre che la pianta tende per sua natura a essere soggetto attivo e non solo passivo rispetto all'ambiente in cui vive, e ciò è tanto più rilevante se dalla singola pianta si passa a considerare quell'insieme di individui che costituisce un campo coltivato. Ad esempio gli essudati radicali alterano il terreno e ne selezionano microflora e microfauna, con lo scopo ad esempio di favorire la disponibilità di nutrienti. Inoltre l'azione delle chiome modifica il microclima riducendo la forza del vento e smorzando la turbolenza, con lo scopo di limitare le perdite idriche per traspirazione e di impedire all'aria di asportare la CO_2 che viene emessa dal terreno (Reinau, 1927) e di cui la pianta ha necessità assoluta.

Quello che si è fin qui illustrato è un modello concettuale che descrive le relazioni fra piante e ambiente. Partendo da tale visione naturalistica è tuttavia possibile passare ad un vero e proprio modello matematico meccanicistico (modello di produzione) che esprime il legame fra le variabili guida ed i caratteri quantitativi delle produzioni agrarie.

Un modello di produzione valido per tutte le colture è schematizzato in f**igura 4**, utilizzando un formalismo proprio della modellistica che classifica le variabili in gioco come variabili di stato (box rettangolari - descrivono lo stato del sistema), variabili di flusso (i rubinetti che regolano i flussi fra una variabile di stato e la successiva) e variabili guida (box ellittici - guidano il sistema verso un certo risultato produttivo).

Tale modello vede la radiazione solare come fonte di energia, la fotosintesi come processo che trasforma la radiazione in energia di legame chimico, una serie di limitazioni imposte dalle variabili guida ed infine una serie di organi di accumulo in cui la produzione finale viene trasferita (foglie, fusto, radici, organi di riserva).

Secondo tale schema, il flusso di radiazione solare fotosinteticamente attiva intercettato dalla chioma (Absorbed PAR - APAR) determina una certa assimilazione lorda (Gross ASSimilation - GASS). La APAR dipende dal Leaf Area Index (LAI) e cioè dai m^2 di superficie fogliare presente per m^2 di suolo. La conversione della APAR in GASS avviene utilizzando un coefficiente moltiplicativo denominato Radiation Use Efficiency (RUE) che indica i grammi di zucchero assimilati per ogni MJ m^{-2} di APAR e viene dunque espresso in g di CH_2O MJ^{-1}.

Valori orientativi di RUE, tratti dal manuale del modello CROPSYST (Stöckle et al., 2003) sono riportati in tabella 1.5.

Tabella 1.5 – Per alcune importanti specie C3 e C4 è riportata la RUE [g CH_2O MJ^{-1}] e cioè i grammi di zucchero intercettati per unità di radiazione fotosinteticamente attiva (Valori di (fonte: manuale operativo del modello CROPSYS - modificato - Stöckle et al., 2003).

Specie	tipo di meccanismo di fotosintesi	da	a
Orzo	C3	2.3	2.7
Lenticchie	C3	2	2.5
Avena	C3	2.3	2.7
Pisello	C3	2	2.5
Segale	C3	2.3	2.7
Soia	C3	2	2.5
Frumento tenero	C3	2	3
Prato di graminacee	C3	2.4	2.6
Girasole	C3	2.5	3.5
Mais	C4	3.5	4
Sorgo	C4	3.5	4

Alla GASS vanno poi detratte le perdite associate alla respirazione di mantenimento (le cellule vegetali respirano), alla traslocazione degli zuccheri dalle foglie ad altri organi ed alla conversione degli zuccheri stessi nelle diverse molecole organiche che compongono un vegetale quali proteine, cellulosa, lignina, ecc. Detratte tali perdite si giunge ad una produzione potenziale netta (PNA - Potential Net Assimilation).
Alla PNA dovrà essere applicato un opportuno rendimento per decurtarla delle perdite dovute a:
- limitazioni termiche (ogni specie presenta infatti un intervallo di temperature utile per la crescita – ad esempio per la vite è l'intervallo è grossomodo compreso fra 7 e 35°C - ed un intervallo più ristretto al cui interno in cui le crescita avviene in modo ottimale – sempre per la vite tale intervallo è grossomodo fra 22 e 28°C)
- limitazioni idriche (funzione delle variabili atmosferiche che determinano il bilancio idrico del suolo)
- limitazioni nutrizionali (funzione delle variabili fisiche atmosferiche e del terreno che agiscono sui cicli dei diversi nutrienti quali l'azoto, il fosforo ed il potassio; ad esempio se le temperature del terreno sono inferiori a 5°C l'urea, non utilizzabile dai vegetali, non può essere convertita in ammoniaca, da cui derivano i nitrati di cui si nutrono i vegetali).
- limitazioni da malerbe (se non contenute con mezzi chimici, fisici o biologici), tali limitazioni possono portare anche alla completa perdita del raccoto
- limitazioni da parassiti e patogeni (insetti, acari, funghi patogeni, insetti, virus, ecc.).
Detratte tali perdite si perviene alla sostanza organica finale (NPP - Net Primary Production) che dovrà essere ripartita fra foglie, fusti, radici e organi di riserva, applicando quote di ripartizione che sono variabili in funzione della fase fenologica[4] raggiunta, la cui epoca di accadimento è condizionata dalle variabili guida atmosferiche (ad esempio temperature primaverili miti determinano anticipi di fioritura in molte specie a fioritura primaverile).
Dalla NPP può essere ricavata la CO_2 assorbita moltiplicando per 44 (peso molecolare di CO_2) e

[4] Per fasi fenologiche si intendono le fasi visibili a occhio nudo che caratterizzano il ciclo annuale della vegetazione (ad es. germogliamento, sviluppo delle foglie, sviluppo degli organi fiorali, fioritura, sviluppo frutti, maturazione, caduta delle foglie) .

dividendo per 30 (peso molecolare di CH_2O, di cui per semplicità si considera che la sostanza organica sia costituita).
Il modello di produzione sopra descritto mostra in sostanza una “cascata di materia” che viene innescata dalla radiazione solare attraverso la fotosintesi e che è diretta verso gli organi di accumulo. Tale modello pur nella sua estrema semplicità riassume in sé tutti gli elementi di un corso di agronomia consentendo di tradurre in termini quantitativi le conoscenze via via acquisite.
Qui di seguito si riportano tre esercizi fondati sull’applicazione di un tale modello per un singolo giorno (caso del vigneto) o per l’intero ciclo di una coltura (caso del girasole e del mais) a colture allo “stato del’arte” e che si considerano dunque correttamente gestite sul piano agronomico e cioè in termini di concimazione, diserbo, irrigazione, difesa da parassiti e patogeni.
Dal modello emerge in particolare lo scopo dell’agricoltore che è quello di fare in modo che il peso delle limitazioni sulla produttività finali non finisca per erodere il suo reddito.

Esempio 1 *– Per un vigneto si stimi l’accumulo finale di zucchero negli acini in un giorno di luglio e nelle seguenti ipotesi: Radiazione solare globale GRS di 30 MJ m^{-2} , 50% della GSR per la PAR; 1.0 per il LAI, con primo strato fogliare che assorbe il 50% della PAR, 2.5 per la Radiation Use Efficiency (RUE); 0.60 per il rendimento di conversione da fotosintati a strutture del vegetale; 0.9 e 0.8 e 1 per i coefficienti di limitazione termica e idrica e nutrizionale; percentuale di accumulo nel grappolo = 75%.*

Voce	Valore	Unità di misura
Radiazione solare globale GSR	30	MJ m^{-2}
Coefficiente di conversione da GSR a PAR	0.5	
PAR	15	MJ m^{-2}
Quota assorbita della canopy	0.5	
APAR	7.5	MJ m^{-2}
RUE	2.5	g MJ^{-1}
CH2O lorda assimilata	18.8	g m^{-2}
CH_2O lorda assimilata	188	kg ha^{-1}
rendimento di conversione	0.6	
CH2O al netto di perdite di conversione	113	kg ha^{-1}
Perdite per limitazione termica	0.15	
Perdite per limitazione idrica	0.05	
Perdite per limitazione nutrizionale	0.02	
Perdite per limitazione da malerbe	0.05	
Perdite per limitazione da parassiti e patogeni	0.05	
Rendimento in funzione delle limitazioni	1-(0.15+0.05+0.02+0.05+0.05)	
Produzione finale al netto della limitazioni	81	kg ha^{-1}
CO2 assorbita	118.8	kg ha^{-1}
Percentuale di accumulo nel grappolo	0.75	
Accumulo finale zuccheri nel grappolo	61	kg ha^{-1}

Esempio 2 – *Per una coltura di girasole che permane in campo per 120 giorni si stimi la produzione finale di granella (acheni) nell'ipotesi di una Radiazione solare globale GSR cumulata sull'intero ciclo colturale di 3500 MJ m^{-2} e dei seguenti valori medi sull'intero ciclo: 50% della GSR per la PAR; 2.0 per il LAI, con primo strato fogliare che assorbe il 55% della PAR ed il secondo il 20%; 3.0 per la Radiation Use Efficiency (RUE); 0.75 per il rendimento di conversione da fotosintati a strutture del vegetale; 0.8 e 0.8 e 1 per i coefficienti di limitazione termica, idrica e nutrizionale; 0.50 per la quota di sostanza secca accumulata nella granella (Harvest index).*

Voce	Valore	Unità di misura
Radiazione solare globale	3500	MJ m^{-2}
Coefficiente di conversione da GSR a PAR	0.5	
PAR	1750	MJ m^{-2}
Quota assorbita della canopy	0.75	
APAR	1313	MJ m^{-2}
RUE	3	g MJ^{-1}
CH_2O lorda assimilata	3938	g m^{-2}
CH_2O lorda assimilata	39.38	t ha^{-1}
rendimento di conversione	0.75	
CH_2O al netto di perdite di conversione	29.53	t ha^{-1}
Perdite per limitazione termica	0.20	
Perdite per limitazione idrica	0.02	
Perdite per limitazione nutrizionale	0.04	
Perdite per limitazione da malerbe	0.00	
Perdite per limitazione da parassiti e patogeni	0.10	
Rendimento in funzione delle limitazioni	1-(0.20+0.02+0.04+0.00+0.10)	
Produzione finale limitata	18.9	t ha^{-1}
CO2 assorbita	27.72	t ha^{-1}
Harvest Index	0.5	
produzione finale di CH_2O	9.45	t ha^{-1}

Esempio 3 – Per una coltura di mais da granella che permane in campo per 120 giorni si stimi la produzione finale di granella nell'ipotesi di una radiazione solare globale GSR cumulata sull'intero ciclo colturale di 3500 MJ m^{-2} e dei seguenti valori medi sull'intero ciclo: 50% della GSR per la PAR; 2.0 per il LAI, con primo strato fogliare che assorbe il 45% della PAR ed il secondo il 30%; 4.0 per la Radiation Use Efficiency (RUE); 0.75 per il rendimento di conversione da fotosintati a strutture del vegetale; 0.8 e 0.8 e 1 per i coefficienti di limitazione termica, idrica e nutrizionale; 0.60 per la quota di sostanza secca accumulata nella granella (Harvest index).

Voce	Valore	Unità di misura
Radiazione solare globale	3500	MJ m^{-2}
Coefficiente di conversione da GSR a PAR	0.5	
PAR	1750	MJ m^{-2}
Quota assorbita della canopy	0.75	
APAR	1313	MJ m^{-2}
RUE	4	g MJ^{-1}
CH_2O lorda assimilata	5252	g m^{-2}
CH_2O lorda assimilata	52.52	t ha^{-1}
rendimento di conversione	0.75	
CH2O al netto di perdite di conversione	39.39	t ha^{-1}
CH2O al netto di perdite di conversione	39.4	t ha^{-1}
Perdite per limitazione termica	0.20	
Perdite per limitazione idrica	0.02	
Perdite per limitazione nutrizionale	0.04	
Perdite per limitazione da malerbe	0.00	
Perdite per limitazione da parassiti e patogeni	0.10	
Rendimento in funzione delle limitazioni	1-(0.20+0.02+0.04+0.00+0.10)	
Produzione finale limitata	25.2	t ha^{-1}
CO2 assorbita	37.0	t ha^{-1}
Harvest Index	0.6	
produzione finale di CH2O	15.1	t ha^{-1}

4. L'ignicoltura alle radici dell'agricoltura

La parte agronomica introduttiva ci consente ora di ragionare con cognizione di causa sul processo storico che ha condotto all'agricoltura di oggi. Per ragionare delle origini occorre premettere che se l'evento di coltivazione intenzionale e domesticazione di piante (rivoluzione neolitica) è databile a circa 10.500 anni orsono (i veda in proposito il paragrafo seguente), tale evento fu preceduto da una lunga fase in cui l'uomo faceva ricorso al fuoco (incendio controllato della foresta e della boscaglia) per orientare la vegetazione spontanea ai propri scopi. Con il fuoco infatti, da un lato l'uomo faceva sì che le piante eduli (ad esempio i cereali vernini – frumento, orzo, ecc. - che sono dette pirofite in quanto favorite dal fuoco) si affermassero sulle altre specie e dall'altro stimolava la rigenerazione della giovane vegetazione pascoliva in grado di attirare la selvaggina, che poteva così essere cacciata con facilità. Questa fase, che Gaetano Forni (2014) definisce di ignicoltura, è databile quantomeno ad alcune decine di migliaia di anni orsono, anche se i progenitori dell'uomo governano il fuoco da oltre un milione di anni.

Per inciso si consideri che l'Europa si presentò ai primi agricoltori coperta di immense foreste, il che obbligò i primi agricoltori, dotati di strumenti oltremodo rudimentali per l'abbattimento degli alberi, ad utilizzare il fuoco per far spazio ai primi campi coltivati. Da ciò derivano ad esempio il nome greco dei cereali (*pyros* = (piante) del fuoco), il nome celtico della birra (brasa, da cui il francese *brasserie*, birreria) ed i nomi geografici, probabilmente coniati nell'età del ferro, di *Svyz* (Svizzera) e *Sweden* (Svezia), che stanno ad indicare le radure aperte con il fuoco (Forni, 2014).

Un ulteriore elemento di riflessione è dato dall'andamento ciclico dei livelli di CO_2 atmosferici a fronte delle ciclicità glaciali ed ai suoi effetti sulla produttività dei vegetali. A tale riguardo occorre premettere che la CO_2 presente in atmosfera[5] è tutt'ora a livelli di parecchio inferiori rispetto a quelli ottimali per la fotosintesi (Sage e Coleman, 2001). Tale condizione fa sì che l'enzima RUBISCO, che nelle piante funge da accettore delle molecole di CO_2 presenti nell'aria (e che in virtù di tale ruolo chiave è la proteina oggi più presente in natura), si sbagli ed assorba O_2 al posto di CO_2, riducendo così sensibilmente l'efficienza del processo di fotosintesi. Tale fenomeno si registra nella gran parte delle specie spontanee e coltivate, che sono note come C3. Poiché durante le ere glaciali i livelli di CO_2 in atmosfera divengono ancora più bassi, scendendo fino a 180 ppmv contro le 280 ppmv tipiche dei periodi interglaciali, l'efficienza delle piante C3 scende a livelli tanto bassi da esporle al rischio concreto di "morte per fame", e per inciso è forse questa una delle ragioni per cui l'agricoltura non è potuta nascere durante la glaciazione di Wurm (Sage, 1995; Pinto et al., 2014).

In virtù dell'inefficienza delle C3 nell'assorbimento di CO_2, in coincidenza con il declino dei livelli di CO_2 osservati nel tardo Oligocene, 30 milioni di anni orsono (Pinto et al., 2014), ha preso il via un processo evolutivo che ha condotto alla genesi delle specie C4. Tali specie si caratterizzano per un efficacissimo meccanismo di concentrazione della CO_2, per cui la CO_2 viene trasformata in acido malico che viene trasferito in particolari tessuti (cellule della guaina del fascio) ove la CO_2 viene liberata raggiungendo concentrazioni tali da impedire che il Rubisco si possa sbagliare. Alle C4 appartengono alcune fra le colture più produttive in assoluto e cioè il mais, il sorgo e la canna da zucchero.

[5] Oggi, principalmente per effetto delle attività umane, la concentrazione atmosferica di CO_2 ha raggiunto le 400 parti per milione in volume - ppmv mentre il livello medio dei periodi interglaciali come il nostro è di 280 ppmv.

5. La rivoluzione neolitica e l'invenzione dell'agricoltura

All'inizio dell'Olocene, in alcune aree privilegiate poste in diverse parti del mondo assai distanti fra loro (Medio Oriente, in Asia Centrale, America Centro Meridionale) ha luogo la nascita dell'agricoltura, tecnologia rivoluzionaria e destinata in un breve volgere di tempo la tecnologica dominante di alcune grandi civiltà (che per comodità chiameremo civiltà del frumento, civiltà del riso e civiltà del mais) e come tale uno strumento chiave per garantire la sopravvivenza dell'uomo e la sua stessa cultura.

L'agricoltura si fonda sul fatto che una specie che in natura è presente in associazione con altre specie e che dunque rappresenta una quota limitata delle biomassa di un dato appezzamento di terreno, viene portata a rappresentare quote assai più rilevanti della biomassa stessa, in modo tale da ottenere una quantità assai più elevata di calorie per ettaro. Come conseguenza è possibile sostenere molti più esseri umani (da 10 a 100 volte) di quanto non potesse garantire un ettaro di terra vergine sfruttata da cacciatori – raccoglitori (Diamond, 1998).

L'agricoltura può essere considerata come una delle maggiori invenzioni della storia dell'umanità, il cui valore epocale la assimila all'invenzione della scrittura; contro tale evidenza ha a mio avviso scarso peso la teoria secondo cui la rivoluzione neolitica sarebbe stata in realtà una catastrofe che avrebbe minato lo stile di vita e la stessa salute delle popolazioni (Larsen, 2006).

Esiste oggi una vasta concordanza sul fatto che la nascita della civiltà del frumento si deve ad un gruppo umano relativamente ristretto che fece il salto dallo stadio della caccia e della raccolta a quello della coltivazione dei vegetali. Tale fenomeno ebbe luogo in culle poste nella cosiddetta "mezzaluna fertile" (**figura 5**), che comprende le seguenti aree:

- la regione compresa fra le odierne Israele, Giordania, Libano e Siria occidentale);
- la Turchia sudorientale;
- l'area lungo il Tigri e l'Eufrate (fra Iraq e Iran occidentale).

Circa lo scenario naturale teatro della rivoluzione neolitica, la maggior parte degli studiosi propende per un territorio ricco di risorse naturali (animali selvatici, piante spontanee) che consentivano una dieta ricca di proteine e abitato da popolazioni che raccolsero a lungo i cereali spontanei prima di iniziarne la coltivazione. Possiamo ipotizzare che i progenitori selvatici dei cereali coltivati fossero presenti nelle praterie e nel sottobosco di foreste rade di querce sub mediterranee, ove formavano grandi distese uniformi che maturavano a inizio estate, in coincidenza con l'esaurimento della riserva idrica dei suoli (Forni, 2013).

Le ragioni del successo in Eurasia della rivoluzione neolitica sono così riassunte da Diamond (1998):

- l'ampia disponibilità di specie vegetali domesticabili e con produttività già elevata in natura (**tabella 1**) e che dunque non potevano sfuggire ai popoli di cacciatori – raccoglitori, che infatti nella mezzaluna fertile divennero con ogni probabilità sedentari prima ancora di iniziare a coltivare;
- l'ampia disponibilità di specie animali con caratteristiche morfologiche ed etologiche favorevoli alla domesticazione (**tabella 2**)
- la forma dell'area continentale eurasiatica (**figura 6**), molto sviluppata in direzione est-ovest e che perciò garantiva l'agevole diffusione delle specie animali e vegetali su fasce omogenee dal punto di vista del clima e della durata del giorno (in Eurasia, dall'Europa al Giappone, esiste una vasta fascia a clima relativamente omogeneo, seppur localmente interrotta dall'orografia e dalla presenza di deserti).

- l’assenza di grandi barriere ecologiche e orografiche che impedissero la diffusione dell’agricoltura e della tecnologia (ad esempio la ruota apparve intorno al 5.000 anni before present (bp) nel vicino Oriente e nel giro di pochi secoli si propagò all’intera Eurasia.

Fra le conseguenze di tali fatti rammentiamo:

- la domesticazione (**tabella 3**) di molte specie animali e vegetali;
- la rapida diffusione a tutta l’Eurasia delle specie domesticate nella mezzaluna fertile: all’epoca di Cristo i cereali mediorientali erano coltivati lungo tutti i 16.000 km che separano l’Irlanda dal Giappone;
- la comparsa di surplus alimentari immagazzinabili e la conseguente possibilità di alimentare gruppi sociali non dediti alle produzione agricola (artigiani, sacerdoti, guerrieri, ecc.) con un fenomeno di specializzazione che è uno dei tratti distintivi delle società complesse.

Tabella 1 *- Disponibilità in diversi ambiti geografici di specie erbacee a seme grosso e dunque interessanti per scopi di domesticazione (Diamond, 1998).*

Areale	Numero di specie erbacee a seme grosso
Asia Occidentale, Europa e Nordafrica	33
Mediterraneo	32
Gran Bretagna	1
Asia orientale	6
Africa sub – sahariana	4
America	11
Nord America	4
Centro America	5
Sud America	2
Australia settentrionale	2
TOTALE	56

Tabella 2 *– disponibilità di grandi animali domesticabili (candidati sono i mammiferi terrestri, erbivori o onnivori, con peso medio > 45 kg). Si noti che solo una piccola parte dei mammiferi candidati presentano un’etologia che li rese effettivamente domesticabili, mentre per molti altri – bufalo africano, rinoceronte, elefante africano, zebra, ecc. – la domesticazione si rivelò impossibile (Diamond, 1998).*

	Eurasia	Africa sub-sahariana	Americhe	Australia
Specie candidate	72	51	24	1
Specie domesticate	13 (*)	0	1 (**)	0
% di successo	18%	0%	4%	0%

(*) pecora, capra, bue, maiale, cavallo, cammello, dromedario, asino, renna, bufalo asiatico, yak, banteng (bovide indonesiano), mithan (bovide indo-birmano).
(**) lama

Tabella 3 - Epoca e luogo di prima domesticazione di alcune specie (Diamond, 1998).

specie	Data (anni bp)	Area
Cane	12000	Asia sudoccidentale, Cina, Nordamerica
Pecora	10000	Asia sudoccidentale
Capra	10000	Asia sudoccidentale
Maiale	10000	Cina, Asia sudoccidentale
Bue	8000	India, Asia sudoccidentale, Nordafrica
Cavallo	6000	Ucraina
Asino	6000	Egitto
Bufalo asiatico	6000	Cina (?)
Lama, alpaca	5500	Ande
Cammello	4500	Asia centrale
Dromedario	4500	Arabia

Con l'agricoltura si ebbe dunque la comparsa di società sedentarie (**figura 7**), ad alta densità di popolazione e con una stratificazione sociale che si fece più significativa a seguito dell'introduzione di nuove tecnologie (in particolare dell'aratro) che avrebbero consentito il raggiungimento di una produttività sufficiente per tali scopi (Forni, 1990). Ciò si tradusse anche in una maggiore possibilità di innovazioni tecnologiche con la conseguenza di un più rapido progresso. Infatti l'innovazione tecnologica è:
- autocatalitica, nel senso che i grandi progressi derivano spesso dalla soluzione di problemi più semplici (ad esempio in Inghilterra occorsero 2000 anni per acquisire la tecnologia del rame e del bronzo dall'area della sua creazione e solo 250 anni per acquisire la tecnologia del ferro)
- subordinata alla nascita di gruppi di specialisti non dediti alla produzione di cibo
- viene favorita dalla presenza di società molto affollate e dalla compresenza di più società sullo stesso territorio.

La densità di popolazione rese inoltre disponibili braccia per i lavori pubblici e per le guerre e dunque, nel bene e nel male, ebbero origine le strutture tipiche della civiltà occidentale e che hanno condotto all'egemonia di tale civiltà a livello globale (Diamond, 1998).

6. La rivoluzione neolitica e l'avventura del frumento

La rivoluzione neolitica nella Mezzaluna fertile viene spesso fatta coincidere con la domesticazione del frumento (genere *Triticum*). Occorre tuttavia precisare che il pacchetto di domesticazione proprio della rivoluzione neolitica mediorientale era più complesso e costituito quantomeno dal binomio cereali (frumento, orzo) - leguminose da granella (lenticchia, fava, cece, pisello, ecc.). Tale binomio, che accompagnerà costantemente gli agricoltori del vecchio mondo dall'antichità fino ai giorni nostri, trova giustificazione su tre piani (Mariani et al., 2014) e cioè:
- sul piano agronomico: la rotazione cereali vernini – leguminose è un tradizionale strumento per conservare la fertilità;
- sul piano genetico: le leguminose da granella come frumento e orzo sono specie che si autofecondano, il che è molto favorevole alla rapida fissazione dei caratteri acquisiti con la domesticazione;
- sul piano dietetico: la dieta basata sul binomio cereali - leguminose è alternativa alla carne

perché completa sul piano degli amminoacidi. Infatti le leguminose non sono di per sé un alimento completo dal punto di vista proteico in quanto carenti in aminoacidi solforati (metionina e cistina), e ciò le rende complementari sul piano dietetico rispetto ai frumenti, ricchi in metionina e cistina ma carenti in lisina e triptofano. In sostanza dunque la "carne dei poveri" è una dieta basata sui semi di leguminose e pane ovvero pasta e ci rimanda a tanti piatti della nostra tradizione a base di pasta e legumi;

- sul piano della conservabilità: sia i semi delle leguminose sia le cariossidi dei cereali sono a lungo conservabili allo stato secco, un aspetto oltremodo apprezzato nell'antichità, quando le tecnologie rudimentali rendevano la conservazione dei cibi uno dei fattori più critici per la sicurezza alimentare.

Nel caso del frumento si assiste al passaggio da una fase di coltivazione intenzionale, intesa come piantagione e raccolta deliberate, ad una fase di vera e propria domesticazione, che consiste nel processo di selezione genetica con conseguenti sensibili modificazioni morfologiche che ha luogo nel passaggio da forme selvatiche a varietà coltivate (i frumenti selvatici hanno 14 o tutt'al più 28 cromosomi, quelli attualmente coltivati ne hanno 28 o 42).

Le **figura 8** riassume in modo semplificato ma efficace la filogenesi del genere *Triticum*, dai progenitori spontanei alle specie oggi coltivate. I principali caratteri distintivi dei progenitori selvatici rispetto ai frumenti domestici sono i seguenti:

- semi più piccoli;
- rachide (asse della spiga) fragile e che si frammenta facilmente, per cui alla maturazione le spighe si spezzano e le spighette acuminate favoriscono l'intrusione del seme nel fenditure del terreno arido, al riparo da roditori e uccelli; ciò costituiva in passato un grave problema, costringendo i primi agricoltori a raccogliere il frumento immaturo per evitare drastiche perdite di prodotto
- seme vestito e cioè con tegumenti che aderiscono fortemente al seme rendendone difficoltosa l'estrazione.

Il monococco fu probabilmente il primo frumento domesticato e, secondo lavori recenti,tale fatto avrebbe avuto luogo intorno a 10.500 anni orsono in Turchia sudorientale, nella zona pedemontana di Karacadag. Qui infatti troviamo le popolazioni di *Triticum boeoticum* geneticamente più vicine al monocco coltivato. A livello di popolazioni umane segnaliamo che nella zona in cui i neolitici domesticarono i cereali pre-esisteva la cultura dei Natufiani, che basava la propria sopravvivenza sulla raccolta di specie spontanee e sul cui contributo alla domesticazione dei cereali esistono opinioni controverse (Forni, 2002).

Assai importanti per giungere ai moderni frumenti a 42 cromosomi sono anche gli eventi d'ibridazione con specie del genere *Aegilops*, genere vicino al genere *Triticum* (**figura 28**). Tale fenomeno ebbe luogo per la prima volta probabilmente nell'area di Damasco intorno a 10.000 anni fa e fu probabilmente favorito dal fatto che *Aegilops* è specie infestante e dunque in grado di infiltrarsi nei seminativi, rendendo così possibile l'incrocio[6].

Da rilevare infine che un processo di domesticazione analogo a quello subito dal frumento ed accompagnato da modificazioni genetiche e morfologiche talora rilevantissime, interessò da un lato le leguminose da granella (Mariani et al., 2014) e dall'altro la maggior parte delle specie che sono state oggetto di domesticazione in diverse parti del mondo (Harlan, 1992; Gepts, 2004) e che sono almeno in parte elencate in **figura 9**. In tal senso è emblematico il caso del mais, la cui morfologia è enormemente diversa da quella del suo antenato selvatico teosinte.

[6] *L'incrocio con specie afferenti a generi vicini al genere Triticum (Aegilops, Agropyron, Secale, Thinopyrum) è da tempo sfruttato dai genetisti per introdurre nel genere Triticum caratteri desiderati come ad esempio la resistenza al freddo, la rusticità o la perennità (Boggini, 2013; Jaikumar et al., 2012).*

7. Il cammino verso occidente della rivoluzione neolitica

Intorno all’8000 bp la rivoluzione neolitica, fino ad allora confinata nel proprio areale d’origine, iniziò a propagarsi verso i territori circostanti seguendo diverse direttrici. In particolare la propagazione verso oriente fu rallentata dalle catene montuose e dai deserti dell'altopiano iranico mentre la propagazione verso sud fu frenata dal deserto arabico. Pertanto le prime terre di conquista per la nuova tecnologia furono il Nord Africa e l'Europa, a partire dai Balcani e dalle fertili terre dell'Europa centrale. Ecco allora che il monococco coltivato, la cui presenza nella mezzaluna fertile è documentata da 10500 anni bp, si ritrova 8000 anni bp a Cipro, in Grecia e nei Balcani e 7000 anni bp nell’Europa centrale (il declino della sua coltivazione avverrà poi nel corso dell’età del bronzo).
I frumenti tetraploidi coltivati, la cui presenza nella mezzaluna fertile risale a 10000 anni bp, si ritrovano 8000 anni bp in vari siti del Mediterraneo e raggiungono la fascia pedemontana a Nord delle Alpi intorno al 6000 bp. In proposito si osservi che il dicocco resterà il frumento più coltivato nel Mediterraneo fino al 3300 bp, allorché sarà soppiantato dal grano duro, originatosi dal dicocco a seguito di una mutazione avvenuta probabilmente in Egitto.
La marcia dell’agricoltura dai siti d’origine verso occidente è riassunta in modo assai efficace dalla **figura 10** (le date, espresse in anni da oggi, sono riferite a siti preistorici datati con carbonio 14). Da tale figura si può ricavare che la velocità d’avanzata media fu di 500 km ogni 500 anni e cioè di circa 1 km l’anno. Tale dato, già indicato da Ammerman e Cavalli Sforza (1973) è stato poi conermato dallo stesso Ammerman in Pinthasi et al. (2005) ove si parla di una velocità media di 0.6–1.3 km l’anno.
Occorre a questo punto rilevare che le modalità di espansione dell’agricoltura dall’areale d’origine verso l’Europa sono un tema di grande interesse sul piano storico e su di esso si sono a lungo interrogati gli studiosi. In particolare molte delle acquisizioni fin qui conseguite sono frutto del lavoro avviato da Cavalli Sforza e collaboratori (Ammerman e Cavalli Sforza, 1973) e che ha portato alla creazione di una nuova branca della genetica definibile come archeogenetica (Soares et al., 2010).
Le due principali ipotesi ancor oggi sul tappeto sono quella dello spostamento di popoli (popoli che migrano portando la nuova tecnologia) e quella della diffusione culturale (popoli che apprendono la nuova tecnologia da popoli che già la praticavano). A favore dello spostamento di popoli che avrebbero sostituito le pre-esistenti popolazioni di cacciatori - raccoglitori vi sono da un lato la genetica delle popolazioni europee che conserva tracce delle antiche migrazioni (le quali, coinvolgendo popolazioni di dimensioni ridotte, lasciarono tracce indelebili) e dall’altro l’idea che la sovrappopolazione conseguenza dell’accresciuta produzione alimentare abbia spinto i popoli mediorientali a migrare.
Riguardo ai problemi di sovrappopolazione indotti dall’introduzione dell’agricoltura, si può ritenere che le popolazioni mesolitiche di cacciatori-raccoglitori vivessero sostanzialmente in equilibrio con il loro ambiente (Fedele, 1993), il che si traduceva in una densità assai modesta. Ad esempio si ritiene che nel mesolitico l’Inghilterra non ospitasse più di 5-10.000 esseri umani. Tale basso livello demografico è attribuibile al fatto che una coppia non poteva permettersi più di un figlio ogni quattro anni. Ciò in quanto si può ipotizzare che la coppia durante gli spostamenti alla ricerca di cacciagione o di vegetali eduli fosse in grado di portare in braccio un solo figlio, essendo già affardellata con armi e masserizie varie; a ridurre la fertilità contribuiva senza dubbio il prolungato allattamento, che probabilmente si protraeva fino al quarto anno di vita del bambino. In media durante la sua fase riproduttiva una coppia poteva dunque avere non più di quattro - cinque figli, di cui solo due - tre raggiungevano l’età riproduttiva, il che si traduceva in un

sostanziale equilibrio tra nascite e morti. Tali valutazioni, riportate in Cavalli – Sforza (1993), sono frutto di osservazioni condotte su popolazioni dedite a caccia e raccolta come pigmei ed eschimesi. Con l'agricoltura e la sedentarizzazione caddero gli ostacoli preesistenti e le coppie poterono giungere ad avere un figlio ogni anno per cui, nonostante le malattie, poté crearsi quell'eccesso di popolazione che spinse all'occupazione di nuove terre ed agli spostamenti di popoli.

Veniamo invece a discutere della prova genetica: in proposito come si diceva è fondamentale il contributo di Luca Cavalli – Sforza, il quale sviluppò i propri lavori partendo dall'ipotesi che i geni dei popoli europei conservassero tracce ancora evidenti delle migrazioni più antiche, avvenute cioè in presenza di popolazioni di scarsa entità e quindi più facilmente modificabili a livello di patrimonio genetico.

In particolare l'attenzione di Cavalli – Sforza si soffermò sulla variabilità spaziale che nella nostra epoca manifestano 95 geni umani in Europa e nel vicino Oriente. La statistica, attraverso il metodo delle componenti principali, gli consentì di analizzare simultaneamente tale variabilità spaziale permettendo di generare alcune mappe (da Cavalli – Sforza definite con il termine suggestivo di "paesaggi genetici") che rendevano conto di una quota elevata di tale variabilità, aiutandoci a porre in evidenza quelle che secondo l'autore sono le tracce di alcune antiche migrazioni di popoli che hanno interessato la nostra area ed in particolare la migrazione dei nostri antenati neolitici.

Occorre precisare che il contributo al patrimonio genetico delle popolazioni europee attribuibile alla migrazione neolitica dalla mezzaluna fertile è stata ridotta rispetto a quello originariamente stimata da Cavalli Sforza (27%). Già Richards (2003) segnalava un contributo percentuale pari al 12 al 23%, con miglior stima del 13% e valori simili sono segnalati da Soares et al. (2009) e da Fernández et al. (2014).

Ad ogni modo lo scenario ancor oggi più probabile perché supportato da dati archeologici (Soares, 2010) è quello già a suo tempo proposto da Cavalli Sforza (Ammerman e Cavalli Sforza, 1973; Pinhasi et al. 2005) e vede l'agricoltura in graduale avanzata verso l'occidente, per cui 8000 anni bp la troviamo a Creta e 5000 anni bp la vediamo raggiungere l'Irlanda, concludendo di fatto la colonizzazione dell'area europea. Le popolazioni che adottarono la nuova tecnologia entrarono ovviamente in competizione per le risorse con i cacciatori – raccoglitori mesolitici: i neolitici infatti disboscavano per coltivare e distruggevano così le aree di caccia. Non si hanno prove del fatto che tale competizione sia sfociata in forme di violenza sistematica (guerre), in quanto i primi villaggi neolitici non mostrano tracce di fortificazioni, che nei centri abitati europei compaiono assai più tardi. In merito ai primi popolamenti agricoli si deve inoltre rilevare che mentre nella mezzaluna fertile si assisteva al primo sviluppo urbano, gli albori dell'agricoltura europea videro insediamenti assai più semplici, localizzati in contesti pienamente rurali e con case che presentavano ossatura in legno e pareti in fango secco (**figura 11**).

I reperti di ossidiana sono invece la traccia più evidente dei primi commerci degli agricoltori europei. L'ossidiana era un materiale raro, di origine vulcanica, ed insieme alle selci era materiale necessario per molti strumenti agricoli primitivi. Il trasporto avveniva per via marittima e fluviale. Alle cave più antiche, sulle isole dell'Egeo, si affiancarono in seguito le cave dell'isola di Lipari, raggiunte grazie al propagarsi verso ovest dell'agricoltura. Dall'ossidiana si ricavavano lamette tutte uguali fra loro che si ponevano al bordo degli strumenti da taglio, ottenendo utensili che restavano a lungo affilati grazie alla durezza del materiale.

Sempre in tema di genetica umana vale la pena di ricordare che i nostri geni conservano tracce evidenti del cambiamento di dieta prodottosi con l'agricoltura e l'allevamento (Cavalli Sforza, 1993). In particolare l'alimentazione a base di latte produsse una delle più rapide evoluzioni genetiche note, per cui la percentuale di individui adulti in grado di metabolizzare lo zucchero del

latte (lattosio) scindendolo in glucosio e galattosio, passò dal 2% precedente ai valori attuali vicini al 90%. L'alimentazione a base di cereali produsse invece significativi cambiamenti nella pigmentazione della pelle. Infatti i cereali non contengono vitamina D ma un suo precursore, da cui la vitamina D si genera per esposizione all'ultravioletto solare. Tuttavia la pigmentazione scura della pelle protegge dall'ultravioletto ed impedisce tale processo. Da ciò deriva che lo spostamento verso nord dell'uomo abbia prodotto la selezione d'individui a pelle chiara (gli eschimesi sono un'eccezione perché ricavano la vitamina D grazie alla dieta a base di pesce).

Abbiamo prima discusso della velocità di avanzata dell'agricoltura verso l'Europa evidenziando una velocità media di 1 km l'anno. Tale velocità può essere considerata come un elemento caratteristico della prima colonizzazione agricola del nostro continente ed è pienamente compatibile con lo spostamento di popoli (Pinthasi et al., 2005). Infatti velocità più elevate sono state riscontrate nel caso di colonizzazioni svolte da popoli di cacciatori e raccoglitori, abituati a compiere lunghi percorsi alla ricerca di selvaggina e di altre fonti di cibo. Ad esempio la cultura Clovis che colonizzò le Americhe a partire da 15.000 anni bp avanzò al ritmo di 13 km / anno, tant'è vero che 13.000 anni bp si trovava al confine fra USA e Canada e mille anni dopo la si ritrova in Patagonia (Diamond, 1998).

Il puzzle dell'agricoltura euro-mediterranea si completò dunque intorno a 5.000 anni fa ed ebbe importantissime conseguenze socio-economiche (superamento delle precedenti civiltà basate su caccia e raccolta), antropologiche (mutamenti genetici e culturali) ed ecologiche (es: vasti disboscamenti, imponenti cambiamenti d'uso del territorio, estinzione di specie animali e vegetali).

Ci rimane ancora qualcosa da dire circa la successiva evoluzione dell'agricoltura nella mezzaluna fertile; ciò in quanto dal 10500 bp fino all'ascesa della civiltà greco-romana, la mezzaluna fertile e l'area del Nilo furono i due grandi centri propulsori della nostra civiltà, cui si devono tutte le maggiori scoperte dell'Eurasia occidentale (lo stato, l'agricoltura, l'allevamento, la ruota, la metallurgia, ecc.). Tale posizione dominante fu conservata grazie a popoli quali i Sumeri, gli Assiro-babilonesi, i Persiani, gli Egizi e gli Ittiti e solo a seguito delle imprese di Alessandro Magno il baricentro della civiltà e del potere si spostò verso ovest.

Fra gli elementi che marginalizzarono la mezzaluna fertile vi fu probabilmente una grande crisi ecologica. Infatti l'area era in origine coperta da foreste ma gli alberi furono tagliati per far posto alle colture o per ottenere legname da ardere e da costruzione. In proposito si osservi che il taglio della foresta di cedri è uno dei passaggi chiave del poema mitologico di Gilgames (Sandars, 1997), massima espressione letteraria nota della civiltà sumerica. A causa delle precipitazioni scarse e mal distribuite si ebbero alluvioni che asportarono il terreno fertile superficiale (sempre nel poema di Gilgames fa la sua comparsa il mito del diluvio successivamente ripreso dalla Bibbia) mentre l'irrigazione portò all'accumulo di sali nei suoli. Si trattava probabilmente di un'area ecologicamente troppo fragile per reggere l'impatto dell'uomo, al contrario dell'Europa occidentale che è più piovosa è assai meno fragile, tant'è che ancor oggi ospita l'agricoltura, millenni dopo la sua introduzione.

Resta indubbio che intorno a 5000 anni orsono l'occupazione dell'area europea da parte dell'agricoltura ebbe pieno compimento; aveva così inizio la storia del rapporto fra agricoltura e clima in Europa, storia cui comprensione presuppone alcune nozioni di base sul clima dell'area euro-mediterranea e sui suoi determinanti che saranno fornite nel capitolo che segue.

8. Clima e circolazione atmosferica in europa

Per comprendere il clima europeo occorre partire dalla constatazione che il clima è frutto del sistema climatico (**figura 12**), sistema assai complesso cui partecipano l'atmosfera, gli oceani (ivi compresi i ghiacci oceanici) e le terre emerse (con le aree forestali, i ghiacciai, i deserti, le aree coltivate, i corsi d'acqua e le falde) (Mariani, 2002). Scopo principale del sistema climatico è quello di garantire il riequilibrio energetico fra le diverse aree del pianeta. In tale riequilibrio è cruciale il ruolo della circolazione atmosferica ed oceanica, tanto da poter dire che è impossibile comprendere la macchina del clima se non si adotta un "logica circolatoria" (sarebbe un po' come se si pretendesse di capire la fisiologia umana senza considerare la circolazione sanguigna).
In particolare il riequilibrio energetico globale del pianeta è garantito grossomodo per il 20% dalle correnti oceaniche e per l'80% dalla circolazione atmosferica (Pinna, 1972). Può stupire che un fluido gassoso con una così ridotta capacità di contenere calore come l'atmosfera terrestre (tutta l'atmosfera ha una capacità termica inferiore a quella di un metro d'acqua marina) possa trasportare tanta energia. Il fenomeno si giustifica con il fatto che l'atmosfera dispone di un eccezionale vettore e cioè l'acqua, la quale passando da liquida a gassosa tramite i processi di evaporazione e traspirazione assorbe moltissima energia, liberandola nel processo inverso (la condensazione). Per inciso questo è uno dei tantissimi ruoli chiave che l'acqua gioca nell'ecosistema ed in questa sede è d'obbligo ricordare il suo contributo essenziale a quel meraviglioso fenomeno che è l'effetto serra, grazie al quale il pianeta Terra è abitabile. Nello specifico Lacis et al. (2010) segnalano che il 51% dell'effetto serra è dovuto al vapore acqueo, il 24% alle nubi, il 21% all'anidride carbonica ed il restante 4% ad alti gas (metano, ossigeno, ozono, protossido d'azoto, ecc.) ed al pulviscolo atmosferico.
Ma come funziona la circolazione atmosferica a livello globale? Per spiegarlo in modo semplice ma efficace basta pensare ad una vasca piena d'acqua. Se si espone un lato della vaschetta ad una fonte di calore e dall'altro del ghiaccio, l'acqua inizierà a salire dal lato riscaldato per ricadere dal lato opposto dando così luogo ad una struttura circolatoria, una cella convettiva. A questo semplice modello si ispirò Hadley nel 17° secolo, ipotizzando la presenza di un'unica grande cella convettiva innescata dal riscaldamento solare alle basse latitudini; secondo tale ipotesi l'aria risalirebbe all'equatore per ricadere ai poli. In natura tuttavia tale cella non è stabile perché la Terra ruota, dando così origine alla cosiddetta forza deviante di Coriolis, per la cui azione la cella si spezza in tre celle: la cella equatoriale (cella di Hadley) in cui l'aria sale all'equatore per ricadere a 30° di latitudine, la cella delle medie latitudini (cella di Ferrel) in cui l'aria sale a 60° di latitudine e ricade a 30° di latitudine ed infine la cella polare in cui l'aria che sale a 60° di latitudine ricade al polo. La zona di subsidenza posta a 30° di latitudine costituisce la fascia degli anticicloni dinamici subtropicali, il cui rappresentante a noi più noto è l'anticiclone delle Azzorre mentre la zona di assurgenza a 60° di latitudine costituisce la fascia dei cicloni dinamici delle latitudini medio-alte cui appartiene il ciclone d'Islanda.
Sempre per effetto della forza di Coriolis, l'aria ruota in senso orario intorno alle aree di alta pressione ed in senso antiorario intorno alle aree di bassa pressione. In virtù di ciò gli anticicloni subtropicali ed i cicloni delle latitudini medio-alte agiscono come enormi ingranaggi che spingono le masse d'aria da ovest verso est; si spiega così la genesi delle grandi correnti occidentali (westerlies), il grande fiume d'aria che scorre alle medie latitudini del pianeta e di cui tutti noi constatiamo la presenza quando le immagini dei satelliti meteorologici ci mostrano le perturbazioni in arrivo dall'Atlantico. Le grandi correnti occidentali sono un sistema assai efficace per trasferire calore dall'equatore verso i due poli. Tali correnti sono infatti instabili e tendono con

facilità ad ondularsi, generando le gradi onde planetarie e le perturbazioni (sistemi frontali con i fronti freddi e caldi) che agiscono come grandi scambiatori di energia fra basse e alte latitudini. E' in virtù di tali strutture che masse d'aria artica sono periodicamente proiettate verso latitudini tropicali e masse d'aria subtropicale verso i poli.
Con questi elementi siamo in grado di comprendere a grandi linee la circolazione a scala euro – mediterranea (**figura 13**), la quale è strettamente legata ai due grandi "motori" e cioè un anticiclone dinamico, l'anticiclone delle Azzorre, e ad un ciclone dinamico (il ciclone d'Islanda). La posizione media di tali motori (**figura 13 – a**) è quella che vede un robusto anticiclone subtropicale (A. delle Azzorre) installato sul Mediterraneo mentre sul Nord Europa domina il Ciclone d'Islanda. Fra i due ingranaggi corrono westerlies robuste e che apportano sull'Europa del centro-nord l'aria atlantica, umida e mite. Tale regime circolatorio è correntemente detto **regime zonale**.
Il caso estremo opposto è poi invece quello in cui l'anticiclone si posiziona sull'Europa settentrionale e la bassa pressione si stabilisce a Sud (**figura 13 – d**). In tal caso la circolazione si disporrà da est-nordest, invertendosi rispetto al suo corso normale (**regime anti-zonale**), per cui si assisterà all'apporto di masse d'aria polare continentale di origine siberiana, che nel periodo invernale sono quelle più fredde in assoluto presenti nel nostro emisfero e che, poiché l'aria fredda è anche molto "pesante", sono spesso indicate come anticiclone russo siberiano (in presenza di tale massa d'aria la pressione al centro della Siberia può salire fino a 1070 hPa).
Fra i due poli estremi (zonale e antizonale) si possono avere tutta una serie di regimi. Ad esempio se il ciclone è centrato sull'est europeo e l'anticiclone sull'atlantico al largo del Golfo di Biscaglia (**figura 13 – b**), sul Mediterraneo giungeranno masse d'aria fredda artica e al contrario, se l'anticlone centrato sull'est europeo e il ciclone sull'atlantico al largo del Golfo di Biscaglia (**figura 13 – c**), si assisterà all'arrivo sull'Europa di aria torrida (aria subtropicale continentale) dall'entroterra africano.
Per inciso il clima europeo è determinato non solo dall'azione dei grandi motori sopra descritti ma anche da quella di strutture "più piccole" come ad esempio le depressioni mobili del Mediterraneo, innescate dall'irruzione nel bacino di masse d'aria fredda. Fra le depressioni mobili ricordiamo, per il contributo al quadro precipitativo dell'area in esame, le depressioni del Golfo di Genova, le depressioni delle Baleari, le depressioni africane e quelle con minimo sull'Italia Centro-meridionale e sullo Ionio. La disposizione di tali strutture determina le aree e i versanti più esposti alle precipitazioni.
In tale contesto dinamico giocano inoltre un ruolo fondamentale le catene montuose (Alpi e Pirenei in primis ma anche i rilievi meno potenti della penisola iberica e dell'area centro-europea) che agiscono sulla circolazione atmosferica alterandola profondamente. Ad esempio i rilievi intercettano l'umidità dalle masse d'aria in arrivo dando luogo a caratteristiche intensificazioni orografiche delle precipitazioni sopravvento cui si associano fenomeni di foehn sottovento.
Da tale sommaria descrizione emerge che il clima europeo è in sostanza frutto dell'azione delle strutture più o meno grandi della circolazione sulle masse d'aria che di volta in volta si disputano il predominio sull'area euro-mediterranea.
Da rilevare che la grande varietà di strutture circolatorie che si alternano ull'area euro-mediterranea si traduce in una variabilità accentuata delle condizioni meteorologiche (nuvolosità, temperatura, precipitazioni, venti, radiazione solare, ecc.) il cui risultato ultimo è tuttavia una sostanziale stabilità del clima europeo; su questa "stabilità frutto di grande variabilità" si è fondato lo sviluppo dell'agricoltura e della civiltà nel nostro continente.
Lo schema della circolazione europea così descritto ci consente di affrontare in modo efficace la descrizione del clima dell'olocene in Europa. In particolare i due regimi circolatori estremi (zonale e quello anti-zonale) danno luogo a due regimi caratteristici (quello atlantico e quello boreale), le

cui caratteristiche più salienti sono descritte in **tabella 4**. Il **regime atlantico** vede l'Europa centro-meridionale dominata per periodi prolungati da anticicloni subtropicali, con conseguente anomalia termica positiva ed arretramento delle masse glaciali mentre l'Europa settentrionale vede lunghe fasi di predominio delle westerlies, con tempo mite e piovoso. Nel **regime boreale** invece si manifestano strutture circolatorie favorevoli agli apporti di masse d'aria fredde da nord – nordest (artica o polare continentale) con conseguente anomalia termica negativa ed avanzamento delle masse glaciali. Ovviamente fra i due estremi si manifestano tutta una serie di situazioni di intermedie fra i due regimi (**regime sub-boreale e sub-atlantico, regime neutro**) anche in termini di condizioni termo-pluviometriche[7]. Sono direttamente riferibili ad un tale schema:
- il diagramma in **figura 14** che illustra l'alternarsi fra fasi a regime zonale (aree in rosso) e fasi a regime antizonale (aree in blu) ricavato da Touet et al. (2009) analizzando dati dendrocronologici riferiti al Marocco ed alla Scozia;
- Il diagramma in **figura 19** che illustra la posizione media annua dell'area a dominio anticiclonico nella fase neutra o anti-zonale (pre 1987) a quella a regime zonale (post 1987);
- il diagramma in **figura 20** che illustra l'effetto termico della transizione dalla fase pre-1987 con caratteri anti-zonali a quella post-1987, con caratteri zonali.

Tabella 4 *– Caratteristiche dei regimi climatici olocenici in Europa.*

Regime	Circolazione media	Configurazione circolatoria più frequente	Indice NAO(*)	Temperature e precipitazioni in Europa
Atlantico	Zonale intensa	Anticiclone delle Azzorre a sud e del ciclone d'Islanda a Nord molto robusti. Westerlies intense su Manica e Mare del Nord	Molto positivo	Mite e piovoso sul Nord Europa; caldo arido sul Sud Europa
Sub-atlantico	Zonale moderata		positivo	
Neutro			nullo	
Sub-boreale	Anti-zonale moderata		negativo	
Boreale	Anti-zonale intensa	Robusto anticiclone su Islanda – Scandinavia e condizioni depressionarie sul Mediterraneo. Sull'area europea prevalgono regimi circolatori da est-nordest.	Molto negativo	Freddo e poco piovoso sul Nord Europa; freddo e piovoso sul Sud Europa

(*) NAO = Indice circolatorio rappresentato dalla differenza di pressione normalizzata fra una località molto a Nord (es: Rejkiavich) ed una molto a sud (es: Gibilterra, Lisbona, Azzorre) e che rende conto dell'intensità del regime zonale. Nelle fasi molto positive si ha l'estrema robustezza dell'anticiclone delle Azzorre a sud e del ciclone d'Islanda a Nord, per cui westerlies molto intense corrono su Manica-Mare del Nord (regime zonale intenso). Al contrario le fasi a NAO negative vedono il prevalere di robusti anticicloni a Nord e di condizioni depressionarie sul Mediterraneo (regime anti-zonale intenso).

[7] I tre regimi (zonale, anti-zonale e neutro) corrispondono rispettivamente alle fasi positive, negative e neutre dell'indice NAO, indice che esprime l'intensità delle westerlies.

9. Il clima nell'olocene

La suddivisione in periodi dell'Olocene si deve al botanico Axel Blytt (1843-1898), il quale studiando le torbiere del Nord Europa elaborò una periodizzazione con alternanza di periodi umidi (in cui si si assiste all'espansione delle torbiere) e periodi aridi (in cui si assiste al regresso delle torbiere). A partire da ciò riconobbe i 4 grandi regimi del clima europeo dell'olocene di cui al paragrafo precedente e cioè boreale, atlantico, sub-boreale e sub-atlantico. In seguito Rutger Sernander (1866-1944), collaborando con il palinologo Lennart Van Post, correlò le fasi della sequenza di Blytt con mutamenti del livello dei mari o mutamenti climatici riscontrabili dallo studio delle stratigrafie.

Tabella 4 – *Grandi transizioni climatiche oloceniche (shift) individuati in base ad analisi di dati di torbiera (nostre elaborazioni su dati di Barber et al. (2004).*

	Transizione climatica evidenziata											
	Interstadio della Piccola Era Glaciale	**Inizio Piccola Era Glaciale**	**Inizio optimum medioevale**	**Intestadio fase fredda Altomedievale**	**Inizio fase fredda Altomedievale**	**Interstadio optimum romano**	**Inizio optimum romano**	**Passaggio da subboreale a subatlantico**	**Inizio grande siccità in Europa meridionale**	**Transizione da Atlantico recente a Subboreale**	**Transizione da Atlantico antico ad Atlantico recente**	**Transizione da Boreale ad Atlantico antico**
Siti rilevati	10	13	10	12	9	4	12	25	17	17	13	5
data media (anni bp)	370	707	1085	1388	1732	1943	2209	2731	3419	4255	5548	7410
data minima (anni bp)	550	880	1170	1500	1850	1980	2320	3170	3750	4620	6450	7800
data massima (anni bp)	100	450	1000	1300	1600	1910	2040	2350	3020	3800	4850	6800

Dai tempi di Blytt e Sernander i metodi della paleoclimatologia hanno compiuto grandi passi in avanti permettendo ad esempio di stabilire che il fanerozoico (ultimo 540 milioni di anni) è si è contraddistinto per l'alternarsi di fasi fredde e fasi calde (Veizier et al., 2000) mentre il pleistocene (ultimi 2 milioni di anni) è stato costellato di una quindicina di grandi ere glaciali.
Utilizzando proxy series riferite a torbiere ed a pollini fossili, Barber et al. (2001) hanno prodotto la seguente lista delle principali fasi umide dell'olocene, riscontrate attraverso studi riferiti ad una

serie di siti dell'area britannica e del Centro Europa: 8200-7800 bp, 4200-4000 bp, 2800-2300 bp, 600-700 d.C., 900-1000 d.C., 1350-1500 d.C. e 1650-1800 d.C..
Inoltre in Barber et al. (2004) vengono presentati una serie di shift (cambi di fase) evidenziabili dall'analisi di dati di torbiere europee reperiti nella fascia latitudinale a clima oceanico compresa fra 50 e 60°C e che comprende dati provenienti da Irlanda, Inghilterra, Scozia, Olanda e Danimarca. E' interessante osservare che per shift riferito alle latitudini considerate da Barber et al. si intende l'inizio di una fase di genesi della torba indotta sia da transizioni da clima più asciutto a clima più piovoso (inizio di una fase a regime atlantico) sia da transizioni da clima più mite a clima più freddo (inizio di una fase a regime boreale). Gli shift ricavati dai dati della tabella 1 di Barber et al. (2004) sono riassunti in **tabella 4** con il significato paleoclimatico che si è ritenuto di attribuire loro in questa sede.
Jalut et al. (2000), grazie a studi palinologici, hanno invece individuato le seguenti principali fasi aride nell'olocene Europeo per la Francia mediterranea e la Spagna: 9500–9000 bp, 7500-7000 bp, 4500-4000 bp, 3700-3300 bp, 2600 bp, 100 d.C. e 700-1000 d.C..
Inoltre Bernhardt et al. (2012) analizzando una carota di sedimenti prelevata nel 1989 dalla laguna costiera di Burullus (delta del Nilo) hanno posto in evidenza i quattro seguenti eventi siccitosi che avrebbero colpito il delta del Nilo e cioè l'evento del 6000-5500 bp, che coincide con la fine del "Periodo umido africano", l'evento del 5000 bp, strascico dell'evento siccitoso precedente, l'evento di 4200 bp che coincide con la transizione fra Antico Regno e Medio Regno ed infine l'evento di 3000 bp che coincide con l'arrivo del Popoli del mare.
Aspetti paleoclimatici potenzialmente interessanti per coloro che si occupano di storia dell'agricoltura emergono anche da studi condotti negli areali d'origine dell'agricoltura stessa. In particolare un'indagine condotta in Georgia da Kvavadze e Connors (2004) e Connor e Kvavadze (2008) su pollini di *Zelkova carpinifolia* Pall. hanno consentito di evidenziare sei optimum climatici olocenici di cui i più rilevanti sono quelli del 6000-5500 bp, 3800-2500 bp e e 650-1200 d.C. Inoltre sondaggi condotti su sedimenti lacustri di alta montagna ad Arkhyz – Georgia (Kvavadze e Efrimov, 1996) ha evidenziato tre principali fasi di deterioramento climatico accadute rispettivamente nel 4300-4200 bp, fra il 700 e l'800 d.C. e e fra il 1600 ed il 1650 d.C.. D'altro canto i sedimenti del Lago Van - Turchia orientale (Wick et al, 2002) hanno evidenziato quattro principali fasi climatiche e cioè una fase arida (11000-8200 bp), una fase di graduale aumento delle precipitazioni (8200 - 6200 bp) ed infine un optimum termo-pluviometrico (6000 - 4000 bp) conclusosi con una rapida transizione al clima arido che tuttora persiste.
Tali informazioni, associate a quelle provenienti da altre fonti (Bertolani Marchetti, 1982, Buccheri et al., 2002, Magny et al., 2001, Pinna, 1996, Vandenberghe et al., 2001 e Zolitschka 1998) hanno consentito di tracciare la **tabella 5**, le cui informazioni sono riassunte a livello grafico nella **figura 15**, che riporta un diagramma termo-pluviometrico di larga massima dell'Olocene in Europa occidentale, dal quale emerge che il clima nell'Olocene europeo è stato soggetto a fluttuazioni relativamente ampie, in progressivo smorzamento con l'avvicinarsi al presente. Nell'interpretare l'andamento termico e pluviometrico espresso in tale diagramma non si deve tuttavia mai trascurare l'estrema variabilità interannuale che caratterizza il cima europeo e di cui il diagramma stesso non rende ovviamente ragione. Per rendersi conto di tale variabilità è sufficiente osservare il diagramma delle date di vendemmia della vite dal 1370 ad oggi in Borgogna (**figura 16**), date che sono correlate positivamente con le temperature del trimestre aprile giugno (un periodo aprile - giugno mite di traduce in una anticipo di fioritura che conduce ad un anticipo di raccolta in quanto la durata del periodo fioritura – raccolta è in linea di massima costante per ogni varietà).
Una sostanziale conferma rispetto alla collocazione temporale dei principali optimum olocenici in Europa ci viene dall'analisi delle temperature del plateau groenlandese riportate nel diagramma in

figura 17 (Alley, 2004). Si osservi che vengono evidenziati tanto gli optimum che le crisi climatiche del diagramma di figura 15. Vicini almeno qualitativamente rispetto ai dati groenlandesi appaiono anche quelli pubblicati da Malcott et al. su Science (2013), da cui si evince che le temperature globali nel corso dell'Olocene avrebbero manifestato un optimum robustissimo fra 9000 e 5000 anni BP (grande optimum postglaciale) seguito da un progressivo deterioramento climatico, temporaneamente interrotto da modesti optimum secondari e che ha raggiunto il proprio apice al colmo della Piccola Era Glaciale – PEG (Prima metà del XIX secolo). Inopinatamente poi dal 1850 il clima è migliorato e, secondo le due teorie oggi più accreditate, tale miglioramento climatico sarebbe da attribuire all'effetto della CO_2, che dalle 280 ppmv registrate alla fine della PEG sono passati alle attuali 400 ppmv (IPCC, 2014) o all'accresciuta attività del Sole, che nel XX secolo ha presentato livelli di attività particolarmente elevati (Scafetta, 2012).

Tabella 5 *– Le fasi climatiche dell'attuale periodo interglaciale in Europa Occidentale (areali a clima oceanico Cfb, mediterraneo Csa e montano).*

Durata	Fase	Caratteri del clima in Europa	Caratteri della civiltà umana in Europa
12700 – 11000 bp	Oscillazione di Allerod	Fase relativamente umida e mite del tardo glaciale	Paleolitico
11000-10200 bp	Dryas recente (ultima fase fredda della glaciazione di Wurm)	Freddo e asciutto	Paleolitico - Mesolitico
10200 bp - inizia l'Olocene (era climatica attuale)			
10200-8800 bp	Pre-boreale	Caldo - arido	Mesolitico
8800-7400 bp	Boreale	mite	Mesolitico
7400-5500 bp	Atlantico antico	Caldo-umido	Mesolitico-Neolitico
5500-4300 bp	Atlantico recente	da caldo a caldo-arido	Neolitico
4300-2700 bp	Sub-boreale	Variabile (una grande siccità interessa il Mediterraneo dal 3200 al 2700 bp e determina la scomparsa della civiltà micenea e ittita.	Età dei metalli
2700 bp - inizia il sub-atlantico (fase climatica attuale)			
2700-2200 bp	Deterioramento climatico dell'età del ferro	Freddo – umido (espansione glaciale)	Tarda età del ferro
2200 bp – 400 d.C.	Optimum romano	Mite, poi caldo-arido	Civiltà romana
400-925 d.C.	Fase fredda alto-medioevale	Freddo	Alto medioevo
925-1300 d.C.	Optimum medioevale	Caldo (regresso glaciale)	Esplorazioni vichinghe
1300-1850 d.C.	Piccola era glaciale (Peg)	Freddo (espansione glaciale)	rivoluzione scientifica,

			controriforma, Età dei lumi, romanticismo
1850-1950 d.C.	Fase di riscaldamento post Peg	Caldo (regresso glaciale)	art decò, eclettismo e razionalismo in architettura.
1950-1975 d.C.	Episodio fresco	Lieve calo delle temperature (espansione glaciale)	Fase contemporanea
Dal 1975	Fase di riscaldamento	Caldo (regresso glaciale)	Fase contemporanea

Dai dati di Marcott et al. riferiti che evidenziano il progressivo deterioramento climatico che avrebbe interessato il clima del pianeta dalla fine del grande optimum postglaciale al 1850, sorge spontaneo il seguente interrogativo: l'agricoltura europea sarebbe stata in grado di supportare la crescita della popolazione se il XX secolo, anziché molto mite (oltre che ricco di CO_2) fosse risultato freddo e con più bassi livelli di CO2 come la prima metà del XIX secolo? Io sono convinto di no, anche sulla scorta di analisi condotte con un modello di produzione dell'erba medica sulla serie storica termo-pluviometrica di Mantova che và dal 1828 al 1997 (Mariani, 2000), analisi che ha posto in evidenza la scarsa produttività propria del XIX secolo, causata soprattutto dalla scarsità delle risorse termiche.

10. Il ruolo del clima nella rivoluzione neolitica

La rivoluzione neolitica segnò la nascita dell'agricoltura non solo nella mezzaluna fertile (civiltà del frumento) ma anche nel sudest asiatico (civiltà del riso) e nelle americhe (civiltà del mais). Più in particolare in America la domesticazione dello zucchino (*Cucurbita pepo* L.) si ebbe circa 10000 anni bp (Smith, 1997) mente quella del mais (*Zea mais* L.) risale a circa 9000 anni bp (Matsuoka et al., 2002); in Asia la nascita della "civiltà del riso" risale probabilmente a 10000 anni bp, epoca a cui risalgono le prime tracce di piante coltivate (miglio – *Setaria italiaca* L.) nel sito neolitico di Cishan (Lu et al., 2009).
Quella neolitica costituisce dunque un unicum, non esistendo altri casi di eventi rivoluzionari di questo tipo (es: invenzione della ruota e delle scrittura) che siano avvenuti in modo sincrono in parti del mondo assai lontane fra loro ed assolutamente non comunicanti. Pertanto vari studiosi si sono domandati cosa possa aver reso sincroni gli eventi di domesticazione ed a molti non è sfuggita la coincidenza temporale fra la rivoluzione neolitica e la transizione climatica che nello stesso periodo vide il passaggio dalle condizioni del Glaciale wurmiano a quelle del Postglaciale, attraverso una fase intermedia, il Tardo-glaciale, ed un'ultima breve fase di avanzata dei ghiacci, il Dryas recente. Il periodo glaciale fu caratterizzato da un clima non soltanto freddo ma anche secco, a causa della ridotta evaporazione dagli oceani; di conseguenza l'estensione delle foreste si ridusse mentre si espansero le aree occupate dai deserti e dalle steppe e salì a livelli imponenti il processo di pedogenesi da trasporto eolico.
L'ipotesi più accreditata è che la fase fredda e asciutta del Dryas recente abbia contratto le disponibilità di specie da raccolta spontanea, favorendo così il passaggio alla coltivazione.
In passato riscosse particolare credito l'ipotesi secondo cui l'aridità del Dryas avesse costretto le popolazioni a concentrarsi lungo i fiumi (Nilo, Tigri ed Eufrate) ed a passare dalla raccolta

all'agricoltura. L'idea della nascita della civiltà agricola legata ai fiumi sembrerebbe oggi superata sia grazie a studi che indicano che la domesticazione sarebbe avvenuta in aree montane (Salamini et al., 2002), sia in seguito alla constatazione che la nascita dell'agricoltura sarebbe più antica rispetto alla sua comparsa (che sarà più avanti discussa) sulle sponde dei grandi fiumi nordafricani e mediorientali.

11. Le principali crisi climatiche dell'olocene

Lungi dal voler percorrere il cammino dell'agricoltura nel corso di dieci millenni, impresa ardua e che vede da tempo impegnati gli storici dell'agricoltura (Forni, 1998), ci si limiterà qui di seguito ad una trattazione generale delle principali crisi climatiche che hanno caratterizzato l'olocene europeo e che hanno avuto grandi influssi sulla civiltà e l'agricoltura. Per crisi climatica si intende qui un cambiamento climatico che porti a condizioni non favorevoli alla vita ed alle attività umane, agricoltura in primis.
In particolare si farà riferimento alle seguenti crisi:

- crisi del 4800-4500 bp (siccità)
- crisi del 3200-2900 bp (siccità)
- crisi del 2800- 2300 bp (periodo freddo-umido)
- crisi del 200 - 600 d.C. (siccità)
- crisi del 1500 - 1830 d.C. (periodo freddo- umido).

11.1 Dall'espansione dell'agricoltura nel grande Optimum postglaciale alla crisi climatica del 4800-4300 bp.

L'espansione dell'agricoltura dall'area dalla Mezzaluna fertile verso l'area europea avvenne in gran parte durante il **grande optimum climatico post glaciale** (7400 ÷ 4300 bp – fase a clima atlantico di **tabella 5**). Durante tale fase i ghiacciai alpini manifestarono un regresso fino a livelli mai più raggiunti nell'Olocene, tanto che si parla di neo-glaciazione per indicare la successiva ricomparsa di ghiacciai che a quell'epoca scomparvero. Ad esempio l'indagine sul lago di Silvaplana (Engadina, CH) ha indicato la più o meno totale assenza di ghiacciai nel bacino del lago fra 9400 e 3300 bp (Barber et al., 2004) mentre un lavoro più recente ha evidenziato che nel corso dell'Olocene il ghiacciaio del Rodano si è presentato su livelli inferiori a quelli attuali per 6500 anni e su livelli superiori per 4500 (Goehring et al., 2011). Si tratta di dati che hanno grandi implicazioni sia per la comprensione della storia delle popolazioni delle aree alpine sia per porre nella giusta luce l'attuale fase di regresso dei ghiacciai alpini.
Da non trascurare è il ruolo di slancio all'espansione dell'agricoltura verso ovest che potrebbe avere avuto il cataclisma che congiunse il mar Nero al Mediterraneo. Le evidenze archeologiche indicano infatti che alla fine della glaciazione il mar Nero si presentava come un enorme lago d'acqua dolce con un livello di circa 150 m inferiore a quello del mar Mediterraneo e che si era formato a seguito del ritiro del grandi ghiacciai wurmiani. Attorno a tale lago si sviluppò una civiltà agricola fiorente, basata su villaggi rivieraschi ove dominavano le attività di pesca. Nel 7600 bp il setto che separava il Mediterraneo dal Mar Nero collassò con l'apertura del Bosforo, un evento traumatico che riecheggia nel mito di Europa e negli stessi miti del diluvio[8]. Tale cataclisma

---

[8] Per la verità secondo l'ipotesi avanzata da Uberto Crescenti (Crescenti e Riganti, 2009; Mariani, 2012), il mito del diluvio presente in comunità umane anche lontanissime fra loro sarebbe da legare soprattutto all'abrupto

produsse la sommersione di innumerevoli villaggi costieri e indusse migrazioni di popoli che si spinsero verso l'Europa Centrale, con un percorso che è marcato dalla presenza di manufatti ceramici specifici (Fagan, 2005).
Da notare inoltre che l'occupazione dell'areale irlandese, con cui si concluse l'espansione dell'agricoltura verso le "terre dove il sole tramonta", avvenne nella fase arida che segna la fine dell'optimum climatico postglaciale. Tale fase arida costituì inoltre una crisi climatica di vastissima portata per il vicino oriente e l'Africa settentrionale. Infatti svariate evidenze consentono di affermare che, conclusasi l'iper-arida fase della glaciazione di Wurm, tra il 9000 ed il 6000 bp (Bubenzer e Riemer, 2007) il Sahara ricevette più pioggia grazie allo spostamento di 700-1000 km verso Nord della fascia piovosa monsonica estiva. Nel Sahara si venne così a determinare un ambiente relativamente umido e relativamente ricco di animali selvatici, in cui le popolazioni locali avevano iniziato ad svolgere attività pastorale (allevamento di buoi, pecore e capre) e forse a coltivare sorgo e miglio.
Tuttavia intorno al 6000 bp il clima della sponda meridionale del Mediterraneo si fece improvvisamente più arido, il che comportò un'imponente avanzata della fascia desertica sahariana (Pinna, 1996, Claussen et al., 1999). La maggiore conseguenza storica del fenomeno fu il fatto che i gruppi umani dell'Asia occidentale e del Nord-Africa, spinti dal rapido inaridimento delle proprie terre, furono costretti a concentrarsi sulle sponde dei fiumi, con grandi effetti sullo sviluppo delle civiltà. Infatti in Egitto il periodo delle piramidi ebbe inizio nel 4650 bp (III dinastia) mentre in Mesopotamia la fase di maggior rigoglio della civiltà sumera iniziò nel 4800 bp (a quell'epoca si colloca la mitica costruzione delle mura di Uruk da parte di Gilgames).
come prova geologica degli elevatissimi livelli di aridità raggiunti si segnala il fatto che intorno al 4800 bp il mar Caspio toccò il livello più basso dell'intero olocene (Klige, 1992)[9].
Segnaliamo infine che la crisi climatica in questione ha probabilmente troncato le ultime residue sopravvivenze di un passato più remoto, segnando il destino degli ultimi mammut dell'isola di Wrangel, che secondo studi recenti si sarebbero estinti circa 4000 anni bp (Vartanyan et al., 1995).

11.2 La crisi climatica del 3200-2700 bp

La parte finale dell'optimum climatico miceneo fu funestata da una forte e persistente siccità che interessò la parte centro - orientale del bacino del Mediterraneo per circa 2 ÷ 5 secoli, fra il 3200 ed il 2700 bp. Possibile causa fu lo spostamento verso nord delle correnti occidentali in una fase climatica a westerlies intense. Fra le possibili conseguenze storiche, Carpenter (1978) segnala la scomparsa della civiltà micenea ed ittita, l'invasione dell'Egitto da parte dei popoli del mare e la comparsa degli Etruschi sulle coste italiane[10]. Lo stesso Carpenter (1978) da un lato segnala che fonti egizie parlano di una grave carestia nel paese degli Ittiti e di spedizioni di grano ordinate dal Faraone e dall'altro riporta una corrispondenza fra Hatti e Ugarit in Siria in cui si parla di una spedizione di 2000 misure di grano che dev'essere trasportata per nave da Ugarit come "*questione di vita o di morte: che il re di Ugarit non indugi*".
Alla stessa crisi climatica è possibile ricondurre anche il rapido tramonto della civiltà palafitticola delle terramare, affermatasi in concomitanza con l'inizio del sub-boreale, la cui abbondante piovosità aveva reso la pianura padana allagata per significativi periodi dell'anno, il che avrebbe

---

incremento del livello globale dei mari (di 100 m e oltre) che si verificò alla fine dell'ultima era glaciale e che sconvolse la vita delle comunità rivierasche dedite a caccia, pesca e raccolta.

[9] Occorre segnalare che il livello del Caspio è rappresentativo dell'andamento pluviometrico ed evapotraspiativo di un vastissimo areale in quanto domina un bacino imbrifero vastissimo ed ha come principale immissario il più lungo fiume europeo, il Volga.

[10] Occore peraltro precisare che recenti studi di genetica delle popolazioni italiche sembrerebbero far propendere per l'origine autoctona degli Etruschi (Ghirotto et al., 2013; Mariani, 2013).

spinto le popolazioni allo sviluppo degli insediamenti palafitticoli (terramare) a partire grossomodo dal 3550 bp. Il successo di tale forma d'insediamento fu tale che nella media età del bronzo si ebbero fino a trecento insediamenti ubicati nelle zone depresse umide, più facilmente esondabili, della pianura. Tuttavia intorno al 3200 bp nell'area fra Oglio, Mincio e Emilia Centro-Occidentale lo sviluppo demografico ed economico cessò quasi improvvisamente (Forni, 1990), per poi riprendere solo 500 anni dopo, con la colonizzazione etrusca. La fine della civiltà delle terramare nel Nord Italia è stata in particolare indagata da Cremaschi et al. (2006) con riferimento all'abbandono della terramara di Santa Rosa di Poviglio (RE) che ebbe luogo intorno a 3150 bp.

11.3 La crisi climatica dell'2700 - 2200 bp

All'inizio del sub-atlantico si assiste ad un vistoso deterioramento del clima europeo con:
- calo di circa 2°C delle temperature medie annue rispetto ai 500 anni precedenti, con inverni relativamente miti accompagnati da estati fresche o fredde;
- aumento delle precipitazioni in Europa, nel Mediterraneo e nel Nord Africa;
- sensibile avanzata ghiacciale;
- calo del limite altimetrico della vegetazione forestale;
- frequenti alluvioni con imponenti fenomeni erosivi: a tale epoca risalgono infatti i delta dei maggiori fiumi italiani (Pinna, 1996), favoriti in pianura padana dagli imponenti disboscamenti avvenuti intorno al 3300 bp (Marchetti, 2002).

Fra gli effetti sulla vegetazione si segnala ad esempio in Europa Centrale la sostituzione delle steppe aride con foreste di faggi, carpini e ontani e lo sviluppo di grandi torbiere in Germania, Irlanda e Scandinavia, con notevoli ripercussioni negative sulle attività agricole che in quei territori erano di insediamento relativamente recente.
Come possibile causa di tale fase climatica si può addurre lo spostamento verso sud delle westerlies in coincidenza con una fase di scarsa attività solare, fatto quest'ultimo dimostrato da studi condotti sugli isotopi radioattivi ^{14}C e ^{10}Be (van Geel et al., 1999).
Conseguenza del deterioramento del clima furono le migrazioni di popoli verso areali a clima più mite, per cui popolazioni scandinave si spostarono verso la Germania, popoli baltici (Bastani e Sciti) migrarono verso i Balcani, i Dori invasero (o ripopolarono - Carpenter, 1978) la Grecia ed i Galli Boi, provenienti dalla Scandinavia, si insediarono in Boemia (2800 bp) per poi calare in Italia nel 2450 bp (Cernuti e Mariani, 2004). A livello padano le frequenti alluvioni resero paludosa la pianura, con acque che la ricoprivano per rilevanti periodi dell'anno, anche perché l'invasione dei Galli aveva portato alla distruzione delle opere di bonifica effettuate dagli Etruschi, che erano giunti in pianura padana intorno all'VIII secolo a.C.. Per una ripresa delle opere di bonifica Etrusche bisognerà attendere la conquista romana (Frediani et al., 2014).

11.4 Dall'optimum romano alla crisi climatica del 200-400 d.C.

Dal primo secolo a.C. il clima europeo iniziò a farsi più caldo e siccitoso (Pinna, 1996) ed il fenomeno si inasprì gradualmente, tanto da assumere i caratteri di vera e propria crisi climatica dal 200 d.C. (Carpenter, 1978).
Fra le fonti storiche che trattano del fenomeno possiamo citare gli scritti dei georgici latini. In particolare Columella, citando un testo georgico dei Saserna (padre e figlio, vissuti nel I sec. a.C.), andato poi perduto, scrive quanto segue "*persone degne di fede erano convinte che lungo i secoli il clima sia stato soggetto a cambiamenti. Fra tali autorità ricordo il dotto astronomo Ipparco, il*

quale ebbe a scrivere che verrà il tempo in cui i poli cambieranno posizione, una dichiarazione questa alla quale Saserna sembra aver dato credito quando nel suo libro sull'agricoltura propende per il cambiamento del clima scrivendo che le regioni che in passato, a causa della gravità incessante dell'inverno, non potevano conservare le viti o gli olivi in esse piantati, ora che la freddezza precedente è diminuita e il tempo sta diventando più clemente, producono copiosi raccolti di olive ed uva".
Come possibile causa delle mitigazione del clima avvenuta in epoca romana possiamo anche in questo caso invocare lo spostamento verso nord delle correnti occidentali; inoltre come prova geologica dell'accresciuta aridità si può segnalare inoltre il fatto che il mar Caspio, fra il 300 e il 600 d.C., toccò il livello più basso degli ultimi 2500 anni (Klige, 1992).
Fra i possibili eventi storici collegati possiamo ovviamente citare la decadenza e il crollo dell'impero romano. A tale riguardo il geografo statunitense Huntington (1915) segnalò come cause immediate della caduta dell'Impero l'inaridimento dell'Africa settentrionale, che per Roma costituiva un importante granaio e l'inaridimento dei pascoli dell'Asia centrale, che avrebbe costretto i popoli che ivi vivevano a spingersi verso ovest premendo sulle frontiere dell'Impero. Ovviamente un fenomeno come la caduta dell'Impero Romano, tanto complesso e ricco di implicazioni storiche, sociali e culturali, non può essere interpretato in modo esauriente sulla base del determinismo climatico; tuttavia il clima può essere senz'altro fatto rientrare fra le possibili concause dell'evento.

11.5 Dall'Optimum medioevale alla crisi climatica del 1300-1850 d.C.

L'optimum climatico medioevale, che occupò grossomodo il periodo che và dal 900 al 1300 d.C. e fu inizialmente accompagnato da un evento epocale, l'espansione dei popoli del Nord (**figura 18**), e che nella sua parte finale (basso medioevo) fu segnato da una grande espansione delle popolazione, spinta anche dalle maggiori disponibilità di cibo legate non solo al clima più mite ma anche al progresso tecnologico. Risale infatti a quel periodo la diffusione a livello europeo dell'aratro a vomere – versoio che consente migliorare in modo molto sensibile la qualità del letto di semina delle colture (Frediani et al., 2014).
Alla chiusura dell'optimum medioevale, intorno al 1250 d.C., i ghiacci ripresero ad avanzare (Monterin, 1937; Le Roy Ladurie, 1976; Pinna, 1996), costituendo la prima avvisaglia di un deterioramento climatico che si protrarrà nei secoli seguenti e la cui causa circolatoria immediata è da ricercarsi nella debolezza delle westerlies (Trouet et al., /2009 – **figura 13**) associata ad una fase a scarsa attività solare nota agli astronomi come minimo di Mounder.
Il deterioramento del clima comportò anzitutto i gravi problemi per le popolazioni alpine con crisi dell'agricoltura e degli scambi commerciali e un calo generalizzato della popolazione europea[11], indotto anche da alcune gravi pestilenze, fra cui ricordiamo quella del 1348, la peste nera a noi nota per le reminiscenze letterarie legate al Decameron di Boccaccio e alla mortea di Laura, la musa del Petrarca. Gli aspetti legati alle popolazioni alpine sono efficacemente descritti da Monterin (1937) per quanto attiene alla valle d'Aosta mentre un'analisi riferita alle valli alpine bresciane è stata svolta da Berruti (1998).
Da segnalare inoltre le gravi traversie incontrate dai coloni norvegesi in Islanda e in Groenlandia; in particolare alla fine del XIV secolo i norvegesi dovettero abbandonare la Groenlandia cedendo il posto agli Inuit. Gravi problemi ebbe anche l'agricoltura del Nord Europa e tale fatto è segnalato

[11] Gli effetti demografici della peste nera del 1348 furono enormi. Ad esempio nel periodo che và dal 1348 al 1450 la popolazione francese scese da 20 a 9 milioni di abitanti, per riportarsi a 20 milioni circa fra il 1450 ed il 1540, valore che poi si mantenne fino al 1715 (Le Roy Ladurie, 2014). Inoltre si stima che in Gran Bretagna la peste nera del 1348 abbia causato la morte del 30-45% della popolazione (Pryor, 2011).

ad esempio dall'abbandono della coltura della vite in Gran Bretagna, avvenuto intorno al 14° secolo e sul quale pesarono anche la concorrenza dei vini francesi rispetto ad una viticoltura praticata in un ambito marginale e con numero medio di giorni piovosi annui troppo elevato per la coltura della vite.
Le Roy Ladurie (1976) riporta una serie di carestie con grandi tributi di vite umane che caratterizzarono il periodo in questione ed in particolare quella del 1594÷1597 (la pioggia incessante rovinò i raccolti in tutta Europa), quella del 1693÷1695 (penuria di generi alimentari; milioni di morti in Francia e Paesi limitrofi) e quella del 1740÷1750 (ultima carestia a dare morti per fame in Europa se si eccettua la carestia irlandese del 1845÷1847 di cui abbiamo parlato in precedenza).
Il picco del freddo estivo fu probabilmente raggiunto nel 1816, grazie al concorso dell'eruzione del vulcano Tambora avvenuta nel 1815[12]. In proposito è utile citare questi brani di cronache locali della Valtellina, area alpina interna la cui economia era strettamente legata al commercio dei vini localmente prodotti (Zoia, 2004): "**1816 - il 30 ottobre…**Il raccolto dell'uva che si è fatto in questi giorni in generale fu scarso ma il peggio è che nei luoghi più caldi e nelle migliori situazioni non si è rinvenuto un grappolo maturo. La costiera di sopra S. Gervaso non presentò che uve, se non in uno stato, quale solitamente si osserva nel mese di Agosto, cioè senza avere ombra di tintura. Il vino dell'anno scorso si paga l. 214 alla soma…".
"1817- li 13 di Aprile - L'inverno fu assai bello, ma la carestia che regna…mette in angustia coloro a cui tocca sostenere la languente umanità. Turbe di poveri molestano le porte de benestanti…La cattiva qualità del vino del 1816 ha contribuito a renderci miserabili, non trovandosi per alcun conto acquirenti di questo genere…".
Da sottolineare comunque che secondo vari storici occorre guardare con occhi nuovi alla Piccola Era Glaciale, evidenziando in particolare che tale periodo non può essere in alcun modo letto come un periodo di freddo continuo ma vada viceversa interpretato come un periodo di fluttuazioni anche considerevoli. Ad esempio Le Roy Ladurie (2004) evidenzia come nell'ambito della PEG vi fu un'alternanza di decenni più freddi intercalati da alcuni più tiepidi con alcune estati addirittura torride. In particolare furono di freddo persistente i periodi 1605÷1615, 1674÷1682, 1695÷1698, gli inverni 1709 e 1740 ed il periodo 1770÷1820.
Furono invece canicolari le estati 1718 e 1719 tanto che in Francia si ebbe un totale di 450.000 morti per disidratazione e dissenteria. Proprio per evidenziare tali oscillazioni, Le Roy Ladurie intitola "Canicules et glaciers" il suo libro del 2004 dedicato all'analisi del clima della piccola era glaciale.
La natura discontinua della PEG è anche evidenziata dalle serie storiche delle date di vendemmia, la cui precocità è influenzata soprattutto dalle temperature massime giornaliere del trimestre aprile-giugno, da cui dipende la precocità di fioritura, per cui in genere a fioriture precoci seguono vendemmie precoci. In particolare Labbé e Gaveau (2013) analizzando la serie storica di date di vendemmia di Beaune (Cote d'or, Borgogna) per il periodo 1371÷2009 e per la varietà Pinot nero (figura 14) hanno posto in luce come più tardiva la vendemmia del 1816 (28 ottobre) e come più precoce quella del 1556 (16 agosto) che precede in precocità quella pur precocissima del 2003 (19 agosto). Risultati simili sono emersi da studi riferiti alle serie storiche 1624÷1930 delle date di vendemmia di Tirano - Valtellina (Mariani et al., 2009) ed alle serie storiche della fenologia della vite 1740 ÷2009 nella località ungherese di Koszeg (Parisi et al., 2014).

[12] Quella del Tambora è la maggiore eruzione avvenuta in epoca storica (Oppenheimer, 2003).

12. Clima e cambiamento

Da quanto sopra descritto possiamo anzitutto dedurre che il clima nell'area euro – mediterranea è un'entità dinamica in continua evoluzione, per cui potremmo dire che in tale ambito "il cambiamento è la norma". Dalle analisi condotte emerge inoltre con chiarezza la vulnerabilità dei sistemi agricoli e sociali in genere alla variabilità climatica; tale vulnerabilità sussiste tuttora come mostrano ad esempio gli effetti delle periodiche siccità nella zona sub-sahariana o quelli delle ricorrenti alluvioni nel subcontinente indiano.
Sul clima come entità dinamica vale la pena di spendere qualche parola in più, trattandosi di un concetto proprio di tutte le culture umane (i miti del diluvio e dell'età dell'oro ci rimandano a ciò).
Il '700 è anch'esso ricco di interrogativi circa la variabilità climatica. Lo attesta il problema posto nel 1773 dall'Accademia delle Scienze di Siena che così recitava: *"Non possiamo sapere per mezzo di osservazioni meteorologiche se nell'estensione di tutta l'Europa l'acqua che cade in pioggia ai giorni nostri sia in maggiore o minor quantità di quella che cadesse ne' secoli a noi più remoti; Si cerca però di sapere la verità del fatto per mezzo di ragioni fisiche, e quali utilità ricavar si potrebbero dalla scienza de' fatti per la coltivazione dei terreni."* A tale problema l'abate Vincenzo Chiminello (1776), vincitore del concorso, rispondeva propendendo per un aumento delle piogge rispetto al passato e proponendo fra l'altro l'introduzione dei prati artificiali per sfruttare le maggiori disponibilità idriche che si erano venute a creare.
Tuttavia per giungere ad una visione moderna della variabilità climatica dobbiamo attendere il XIX° secolo, con la scoperta delle ere glaciali (Agassiz, 1840) e la conseguente presa di coscienza della provvisorietà del clima attuale, provvisorietà di cui si trovano ad esempio tracce nella poetica del Carducci ed in particolare nella parte finale della poesia *Su Monte Mario* (Odi barbare, libro II) .
Uno dei più illustri climatologi del 20° secolo, H.H. Lamb, pubblicava nel 1973 un articolo divulgativo dal titolo "Il clima si raffredda" in cui constatava la flessione in atto delle temperature e scriveva fra l'altro: "*…divenne presto evidente che l'anidride carbonica non poteva spiegare tutto. Infatti, nonostante l'aumento della sua produzione dovuto alla sempre maggiore industrializzazione ed al crescente consumo di oli e di altri combustibili, la variazione di temperatura si è invertita. E cioè negli ultimi 25÷30 anni la Terra è progressivamente diventata più fredda. Il raffreddamento è stato particolarmente intenso intorno al 1960 e vi sono oggi molte prove di corrispondenti inversioni delle migrazioni degli uccelli e dei pesci e nella estensione delle colture e delle foreste.*"
Queste parole richiamano senza dubbio ad una visione dei fenomeni che tenga in debito conto i nostri limitati livelli di conoscenza del sistema climatico.
Rispetto al 1850 le temperature globali sono a tutt'oggi aumentate di 0.7÷0.8°C (manifestando un incremento peraltro non omogeneo sulla superficie del pianeta) e sulla causa di tale aumento si confrontano diverse teorie, tutte con diritto di cittadinanza nella comunità scientifica almeno fin quando vi saranno ricercatori disposti a difenderle scrivendo a loro favore su riviste internazionali. Citiamo fra le altre la teoria del potenziamento antropico dell'effetto serra (IPCC, 2014), la teoria solare (van Geel et al., 1999; Soon et al., 2000; Scafetta, 2012) e la teoria dei raggi cosmici (Shaviv, 2005).

13. Attualita' e prospettive

Il rapporto fra clima e storia è tale per cui le variabili climatiche rientrano fra le variabili guida

dell’attività agricola e della civiltà umana nel suo complesso.
Senza dubbio sul ruolo da assegnare al clima nelle vicende umane occorre prudenza, evitando accuratamente una visione deterministica. Ciò anche perchè, come ci ricorda Le Roy Ladurie (2004), la storia del clima è da vedere nel quadro della storia delle conquiste dell'uomo, uomo che cerca per sua natura a svincolarsi dalla “dittatura del clima”. Ad esempio tra il XV° e il XVIII° secolo i contadini costituivano l’80÷95% della popolazione europea per cui l'andamento, la qualità e l’abbondanza dei raccolti regolavano tutta la vita materiale (Braudel, 1987). Restare ancorati alla valutazione del danno significa dunque fissarsi sullo studio di crisi di breve termine mentre invece occorrerebbe cogliere i meccanismi di adattamento posti in atto su periodi più lunghi (de Vries, 1981). Le Roy Ladurie racconta ad esempio che l'inverno del 1740 fu disastroso in quanto molto anomalo in rapporto al periodo in cui venne a cadere. Infatti tale inverno rigidissimo seguiva mezzo secolo di clima oceanico relativamente mite, durante il quale la diminuita variabilità del clima aveva fatto si che l'agricoltura ed il sistema di approvvigionamento delle derrate fossero impreparati di fronte ad un evento così anomalo.
Il tema dell’adattamento alla variabilità del clima è particolarmente importante e delicato per i sistemi agricoli odierni che sono chiamati all’immane sforzo - fin qui coronato da un successo misconosciuto da molti - di garantire alimenti e beni di consumo per una popolazione mondiale che ammonta oggi a 7 miliardi di individui e che nel 2050 raggiungerà i 9,5 miliardi (U.S. census Bureau, 2014). A tale riguardo può essere importante valorizzare quanto ci viene dall’osservazione del passato e cioè che la risposta dell’agricoltura alla variabilità climatica è sempre consistita nei due fondamentali adattamenti relativi nella genetica (di vegetali coltivati ed animali d’allevamento) e nelle tecniche colturali[13] (lavorazioni del terreno, concimazioni, difesa dalle malerbe e dai parassiti, ecc.) (Mariani, 2004); da questo punto di vista l’agricoltura che ha consentito per migliaia di anni la sopravvivenza della popolazione europea vincendo la sua battaglia con un clima variabilissimo e spesso ingrato è da considerare la madre culturale dell’agricoltura della rivoluzione verde, fondata sulla massiccia introduzione di nuove tecnologie nei settori delle lavorazioni del terreno, delle concimazioni, dei diserbi, della fitoiatria e su una straordinaria attività di miglioramento genetico il cui simbolo più efficace è forse costituito dalla taglia dei frumenti, passata in meno di un secolo da 150÷180 cm a 80-100 cm (**figura 26**). Mantenere aperte le vie dell’innovazione nella genetica e nelle agrotecniche è dunque un pilastro per garantire un futuro alla nostra agricoltura come sistema per la produzione di cibo e beni di consumo essenziali.
A fronte di tali considerazioni esiste la necessità per il settore agricolo di prendere atto che la variabilità è un elemento caratteristico del clima delle medie latitudini e che con tale variabilità ci si deve confrontare a viso aperto. Da questo punto di vista gli elementi a nostra disposizione sono abbastanza scoraggianti. In particolare l'Europa negli anni '80 del nostro secolo è entrata in una nuova fase climatica segnata dal repentino intensificarsi della circolazione atlantica con passaggio da un regime a westerlies deboli ad uno a westerlies intense (Werner et al., 2000). Ciò si è tradotto anzitutto in un’espansione dell’area dominata dagli anticicloni subtropicali (**figura 19**) che ha avuto tutta una serie di effetti sul regime termico e pluviometrico dei diversi areali europei (Mariani, 2000; Mariani et al., 2012) (**figure 20 e 21**). Quanti hanno letto in modo corretto tale discontinuità? Quanti sono oggi portati a pensare che con il “global warming” gli inverni rigidi e nevosi siano ormai impossibili e giungono così impreparati all'inverno successivo, un po’ come i francesi del 1740? Potenza dei media o forse potenza di una cultura insensibile agli aspetti quantitativi dei fenomeni ed alla necessità di misurare i fenomeni stessi, in primo luogo nella

[13] Per una visione d’insieme del progresso nelle tecniche colturali dalla nascita dell’agricoltura ad oggi si consiglia di consultare la Guida al Museo di Storia dell’Agricoltura (Ferdaini et al., 2014), particolarmente ricca di immagini e disponibile gratuitamente in rete.

stessa azienda agricola?
Una valutazione di sintesi meritano anche i trend in atto negli **eventi estremi**. In tale ambito giova commentare brevemente il lavoro di Screen e Simmonds, uscito nel 2014 su Nature Climatic Change. Gli autori hanno analizzato una serie storica di 34 anni (1979÷2012) di temperature e precipitazioni mensili per le medie latitudini del nostro emisfero (35÷60°N). Il risultato è stata la totale assenza di trend negli eventi termici e pluviometrici estremi (**figura 22**). A risultati analoghi hanno condotto le analisi effettuate sulle piogge estreme nel bacino del Mediterraneo per il periodo 1973÷2012 (Mariani e Parisi, 2013) e sulla Lombardia per il periodo 1951÷ 2005 (Parisi et al., 2014) mentre una riduzione del rischio climatico di basse temperature per il riso alle medie latitudini è stato evidenziato da Mariani et al. (2009). Se d'altronde il clima fosse davvero divenuto sensibilmente più "estremo" non si giustificherebbe il graduale incremento a livello mondiale delle rese delle principali colture (sia in termini di rese ettariali sia di rese pro-capite) cui si sta assistendo da decenni (**figura 23 e 24**) e che si sta traducendo in un rilevante calo nella percentuale globale di sottonutriti (**figura 25**).

14. Conclusioni

L'analisi effettuata si presta ad alcune considerazioni di sintesi. Anzitutto occorre precisare che l'agricoltura europea in ogni epoca è riuscita ad adattarsi alla variabilità del clima ovvero, per dirla con Emmanuel Le Roy Ladurie, a sottrarsi alla "dittatura del clima". La storia dell'agricoltura ci insegna che la disponibilità di cibo e di beni di consumo per l'umanità si fonda da sempre sull'innovazione tecnologica nei settori della genetica vegetale ed animale (**figure 26, 27, 28, 29**), delle tecniche colturali (**figura 30**) e della raccolta, trasformazione e conservazione dei prodotti agricoli. In tal senso occorre considerare che la limitazione nella risorsa suolo è sempre più stringente, in quanto a livello globale le attività agricole e silvo-pastorali si svolgono su:

- 1.4 miliardi di ettari (0.25 per abitante) di arativi
- 3.2 miliardi di ettari (0.5 per abitante) di pascoli
- 4 miliardi di ettari (0.6 per abitante) di foreste.

Non deve inoltre sfuggire che il settore zootecnico è oggi attraversato da una vera e propria rivoluzione tecnologica che dev'essere in ogni modo favorita e che mira a ridurre la quantità di alimenti necessari per produrre un kg di latte o di carne. Ciò spiega anche il fatto che negli ultimi anni la crescita nel numero di capi allevati interessa soprattutto i suini ed il pollame, specie nettamente più efficienti rispetto ai bovini in termini di conversione degli alimenti.
Il confronto con questi temi, così importanti per il nostro futuro, è obiettivo chiave di Expo 2015, che non dovrebbe invece appiattirsi sul nostalgico rimpianto per i "buoni cibi di una volta" o su letture in chiave "gastronomica" del reale o ancora sull'uso di slogan (naturale, biologico, biodinamico, a chilometro 0, "no al cibo di Frankenstein", ecc.).
Più nello specifico, alla luce dei trend della popolazione globale che indicano il raggiungimento dei 9.3 miliardi di abitanti per il 2050, Expo 2015 dovrebbe promuovere un'accresciuta consapevolezza del fatto che la tecnologia è una leva formidabile di cui non possiamo in alcun modo fare a meno ed il cui uso può dar luogo ad incrementi sostanziali della quantità/qualità delle produzioni agrarie, consentendo di offrire all'intera umanità la piena sicurezza non solo alimentare ma anche nell'approvvigionamento di beni di consumo (combustibili, vestiario, materie plastiche, ecc.).

Per raggiungere tali obiettivi è essenziale sfruttare al meglio due fattori essenziali che sono la maggior disponibilità di anidride carbonica in atmosfera e le temperature più miti. Tali fattori possono consentire incrementi sostanziali nelle rese a condizione di contenere le limitazioni (siccità, danni da basse e alte temperature, danni da eccesso idrico, danni da parassiti e malerbe, ecc.), facendo ricorso alle classiche tecniche agronomiche (adozione di varietà a ciclo più lungo, sistemazioni idraulico-agrarie, irrigazioni, aridocoltura, ecc.) che sono ampiamente descritte nei testi di agronomia (Mariani, 2013, a).
Vincere la sfida dell'ulteriore intensificazione dell'agricoltura imposta dall'aumento di popolazione significa inoltre rendere l'agricoltura più sostenibile e più rispettosa della biodiversità. Cruciale si rivelerà altresì la difesa dei suoli agricoli dai loro tanti nemici (urbanizzazione, erosione, salinizzazione, espansione del bosco in ambiti vocati all'agricoltura, ecc.).
In sintesi oggi urge una nuova rivoluzione verde con innovazioni massicce nei settori delle genetica e delle agrotecniche (più tecnologia) da abbinare ad un maggior rispetto dell'ambiente. Questo a mio avviso il messaggio che dovrebbe uscire da Expo 2015.

Bibliografia

- Agassiz L., 1840. Études sur les glaciers, Neuchâtel, Svizzera, 1840.
- Alley, R.B.. 2004. GISP2 Ice Core Temperature and Accumulation Data. IGbp PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series #2004-013.
- Ammerman, A.J., and Cavalli-Sforza, L.L., 1973. A population model for the diffusion of early farming in Europe. In The Explanation of Culture.
- Araus et al., 2003. Productivity in prehistoric agriculture: physiological models for the quantification of cereal yields as an alternative to traditional approaches, Journal of Archaeological Science 30, 681–693
- Cavalli-Sforza, L.L., Menozzi, P., and Piazza, A. (1994). The History and Geography of Human Genes (Princeton, N.J.: Princeton University Press).
- Change, C. Renfrew, ed. (London: Duckworth). NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.
- Barber K., Zolitschka B., Lauritzen S., Tarasov O., Lotter A., 2001. Atlantic to Urals - the Holocene climatic record of Mid-Latitude Europe, Past Climate Variability Through Europe and Africa An International Conference, 27 - 31 August 2001, Aix-en-Provence, France (http://atlas-conferences.com/)
- Boggini G., 2013. Roberto Forlani, un genetista di valore (1902-1953), https://sites.google.com/site/storiagricoltura/ritratti0/roberto-forlani (sito visitato il 30 settembre 2014).
- Bernhardt C. E., Horton B., Stanley J.D., 2012. Nile Delta vegetation response to Holocene climate variabilità, Geology, July 2012, 615-618.
- Bertolani Marchetti D., 1982. Vicende climatiche passate e attuali alla luce di recenti ricerche, in Atti del primo convegno di meteorologia appenninica, Amm.ne Prov.le di Reggio Emilia.
- Braudel F., 1987. Civiltà materiale, economia e capitalismo, 3 voll.,Torino.
- Bubenzer O., Riemer H., 2007. Holocene Climatic Change and Human Settlement Between the Central Sahara and the Nile Valley: Archaeological and Geomorphological Results, Geoarchaeology: An International Journal, Vol. 22, No. 6, 607–620
- Buccheri G., Capretto G., Di Donato G., Esposito P., Ferruzza G., Pescatore T., Russo Ermolli E., Senatore M.R., Sprovieri M., Bertoldo M., Carella D., Madonia G., 2002. A high resolution record of the last deglaciation in the southern Tyrrhenian sea: environmental and climatic evolution, Marine geology, vol. 186, issue 3-4, pp. 447-470.
- Burney J.A., Davis S.J., Lobell D.B. 2010. Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification, Proceedings of the National Academy of Sciences, 107, 12052-12057.
- C. Cattaneo, 1847. D'alcune istituzioni agrarie dell'Alta Italia applicabili a sollievo dell'Irlanda – lettere a Roberto Campbell, Officiale della Marina Britannica e Regio Vice-Console in Milano, in Memorie di Economia Pubblica dal 1833 al 1860, Milano, 1983.
- Camuffo D., 1990. Clima e uomo, Milano.
- Carpenter R., 1978. Clima e storia, una nuova interpretazione delle fratture storiche nella Grecia antica, Torino.
- Cattaneo C., 1844. Su lo stato dell'Irlanda nell'anno 1844, Il Politecnico.
- Cattaneo C., 1847. Dei disastri dell'Irlanda negli anni 1846 e 1847, Il Politecnico. Vol VIII.
- Cavalli Sforza L. e F., 1993. Chi siamo: la storia della diversità umana, Milano, 1993.

- Cernuti S, Mariani L (2004). Il calendario agricolo celtico: un contributo interdisciplinare alla sua ricostruzione. RIVISTA DI STORIA DELL'AGRICOLTURA, vol. Anno XLIII - n.1, p. 3-22, ISSN: 0557-1359
- Chiminello V. 1776. Non possiamo sapere per mezzo di osservazioni meteorologiche se nell'estensione di tutta l'Europa l'acqua che cade in pioggia ai giorni nostri sia in maggiore o minor quantità di quella che cadesse ne' secoli a noi più remoti; Si cerca però di sapere la verità del fatto per mezzo di ragioni fisiche, e quali utilità ricavar si potrebbero dalla scienza de' fatti per la coltivazione dei terreni. Memoria che fu coronata dall'Imperiale Accademia delle Scienze di Siena sul Problema proposto per l'anno 1773 e aggiudicato nel 1775, Padova, 1776.
- Clark G., 1986. La preistoria del mondo, una nuova prospettiva, Milano.
- Claussen M, Kubatzki C., Brovkin V., Ganopolski A., Hoelzmann P., Pachur H.I., 1999. Simulation of an abrupt change in Saharan vegetation in the mid-Holocene. Geophysical Research Letters 26, pp. 2037-2040.
- Connor S.E. and Kvavadze E.V., 2008. Modelling late Quaternary changes in plant distribution vegetation and climate using pollen data from Georgia – Caucasus, J. Biogeogr., 36, 529–545.
- Cremaschi M., Pizzi C., Valsecchi V., 2006. Water management and land use in the terramare and a possible climathic co-factor in their collapse. The case study of the terramara S. Rosa (Northern Italy), in Quaternary International 151, pp.87-98.
- Crescenti U., Riganti V., 2009. Tra mito e realtà - Il mito del Diluvio Universale nella memoria geologica dei cambiamenti climatici degli ultimi 20.000 anni, http://www.climatemonitor.it/?p=19969 (sito visitato il 2 ottobre 2014).
- De Ponti et al., 2012. The crop yield gap between organic and conventional agriculture. Agricultural systems 108, 1-9.
- de Vries J., 1981. Misurare gli effetti del clima sulla storia: la ricerca di adeguate metodologie, in Clima e storia, studi di storia interdisciplinare, Milano.
- DeLucia E.H., Gomez-Canovas N., Greenberg J.A., Hudiburg T.W. et al., 2014. The theoretical limit to plant productivity, Environ. Sci. Technol., 214, 48, 9471-9477.
- deMenocal P., J. Ortiz, T. Guilderson, M. Sarnthein, Coherent High- and Low-Latitude Climate Variability During the Holocene Warm Period, Science, Vol. 288 (5474), 2000, pp. 2198.
- Diamond J., 1998. Armi, acciaio e malattie, breve storia del mondo negli ultimi 13000 anni, Einaudi, Torino.
- Dyson F., 2007. A many colored glass: reflections on the place of life in the universe, University of Virgina Press.
- Enciclopedia Treccani, 1999 – voce Carbonio (http://www.treccani.it/enciclopedia/carbonio_%28Universo_del_Corpo%29/).
- Fagan B., 2005. La lunga estate; come le dinamiche climatiche hanno influenzato la civilizzazione, Codice edizioni, 2005.
- FAO, 2011. Save and grow, a policymaker's guide to the sustainable intensification of smallholder crop production, FAO, Rome, 102 pp.
- Fedele F., 1993. Cacciatori dell'età della pietra nelle Alpi Centrali, Le scienze, n.294/93, 1993.
- Fernández E. et al., 2014. Ancient DNA Analysis of 8000 B.C. Near Eastern Farmers Supports an Early Neolithic Pioneer Maritime Colonization of Mainland Europe through

Cyprus and the Aegean Islands, Plos One, DOI: 10.1371/journal.pgen.1004401.

- Forni G., 1990. Gli albori dell’agricoltura, origine ed evoluzione dagli Etruschi agli Italici, Roma, 1990.
- Forni G., 1998. Dall’archeologia alla storia: riflessioni metodologiche per l’elaborazione di una (pre)istoria dell’agricoltura italiana. Rivista di storia dell’agricoltura, anno XXXVIII, n.2.
- Forni G., 2002. L’agricoltura: coltivazione e allevamento. Genesi, evoluzione, contesto, in Storia dell’Agricoltura Italiana, volume I, l’Età antica, Firenze.
- Forni G., 2012. Produrre - Analisi funzionale e significato dell’agricoltura, in Il cibo e gli uomini, l'alimentazione nelle collezioni etnografiche lombarde, a cura di Mariani L. e Pirovano M., edizioni Rebel, ISBN 978-88-90-47621-1, pp. 14-24.
- Forni G., 2013. Origine della cerealicoltura nel quadro generale dell’evoluzione agraria, Bullettino dell’agricoltura, Atti della Società Agraria di Lombardia, fascicolo 3-4/2013, 81-98.
- Forni G., 2014. Origine ed evoluzione dell’alimentazione carnea e problematiche connesse - domesticazione animale ed evoluzione umana, in Atti dei Seminari Carne, Sant’Angelo Lodigiano, 18-20 ottobre 2013, edizioni del Museo Lombardo di Storia dell’Agricoltura, a cura di Maggiore T. e Mariani L., ISBN 9788890973505, 5-19.
- Frediani G., Forni G., Pisani F. e Bassi G., 2014. Guida alla visita ragionata del Museo Lombardo di Storia dell’Agricoltrua, Nuova edizione a cura di Mariani L., Forni G., Failla O., e Rovida E., 106 pp (liberamente disponibile al sito https://sites.google.com/site/storiagricoltura/
- Gepts P.,2004. Crop domestication as a long-term selection experiment, Plant Breeding Reviews, Volume 24, Part 2, edited by Jules Janick, ISBN 0-471-46892-4, John Wiley & Sons, 1-44.
- Ghirotto S. et al, 2013. Origins and Evolution of the Etruscans’ mtDNA, PLOS one, February 2013, Volume 8, Issue 2.
- Goehring B.M., Schaefer J.M., Schluechter C., Lifton N.A., Finkel R.C., Timothy Jull A.J., Akçar N., Alley R.B., 2011 The Rhone Glacier was smaller than today for most of the Holocene, May 24, 2011, doi: 10.1130/G32145.1
- Harlan, J. R. 1992. Crops and man. 2nd ed. Am. Soc. Agronomy, Madison, WI.
- Helldén U., Tottrup C., 2008. Regional desertification: A global synthesis. Global and Planetary Change 64 (2008) 169–176
- Herrmann S.M., Anyambab A., Tucker C.J., 2005. Recent trends in vegetation dynamics in the African Sahel and their relationship to climate, Global Environmental Change, Volume 15, Issue 4, December 2005, Pages 394-404.
- Huntington E., 1915. Civilization and Climate, New Haven, 1915.
- IPCC, 2014. AR5, Summary for policymakers (http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf)
- ISMEA, 2012. Stime 2012 degli investimenti e delle produzioni dei principali cereali in Italia (http://www.ismea.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/7250)
- Jaikumar N.S., Snapp S.S., Murphy K., Jones S.S., 2012. Agronomic Assessment of Perennial Wheat and Perennial Rye as Cereal Crops, Agronomy Journal, Vol.104, Issue 6, 2012, 1716-1726.
- Jalut G., Amat A.E., Bonnet L., Gauquelin T., Fontugne M., 2000. Holocene climatic changes in the Western Mediterranean, from south-east France to south-east Spain, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 160, pp. 255–290

- Klige, R. K. 1992. Changes in the water regime of the Caspian Sea. GeoJournal, July, pp. 299-307 (diagrammi riportati nel sito http://archive.unu.edu/unupress/unupbooks/uu18ce/uu18ce08.htm - sito visitato il 2 ottobre 2014).
- Kvavadze E.V. and Connor S.E., 2005. Zelkova carpinifolia (Pallas) K. Koch in Holocene sediments of Georgia—an indicator of climatic optima, Review of Palaeobotany and Palynology 133 (2005) 69– 89.
- Kvavadze, E. and Y.V. Efrimov, Palynological studies of lake and lake-swamp sediments of the Holocene in the high mountains of Arkhyz (western Caucasus), Acta Paleobotanica, 36, 107-119 (1996).
- Labbé T., Gaveau F., 2013. Les dates de vendange à Beaune (1371-2010). Analyse et données d'une nouvelle série vendémiologique, Revue historique, n° 666, 2013/2, p. 333-367.
- Lacis A.A., Schmidt G.A., Rind D., Ruedy R.A., 2010. Atmospheric CO2: Principal Control Knob Governing Earth's, Science 330, 356-359.
- Lamb H.H., Climate, present, past and future, London, 1977.
- Larsen C.S., 2006. The Agricultural Revolution as Environmental Catastrophe: Implications for Health and Lifestyle in the Holocene. In (Hélène Jousse, special issue editor) Environmental Catastrophe and Human Response in the Last 11,500 Years. Quaternary International, Volume 150, Issue 1, June 2006, Pages 12–20 .
- Le Locle, Swiss Jura, using pollen and lake-level data, Quaternary research 56, pp. 170-180.
- Le Roy Ladurie E., 1976. Tempo di festa, tempo di carestia, storia del clima dall'anno 1000, Torino.
- Le Roy Ladurie E., 2004. Canicules et Glaciers - Histoire humaine et comparée du climat, Fayard, Paris.
- Le Roy Ladurie E., 2014. Une vie avec l'histoire, Memoires avec le concours de F.D. Liechtenhan, Tallandier, 249 pp.
- Love J., Dillard J., Brock K., Dourte D., Fraisse C., 2012. Agricultural Management Options for Climate Variability and Change: High-Residue Cover Crops, University of Florida Extension, http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/AE/AE48800.pdf
- Lu H. et al., 2009. Earliest domestication of common millet (Panicum miliaceum) in East Asia extended to 10,000 years ago, PNAS, May 5, 2009, vol.106, no.18, 7367–7372.
- Magny M., Guiot J., Schoellammer P., 2001. Quantitative reconstruction of younger dryas and mid – holocene paleoclimates at
- Marchetti M., 2002. Environmental changes in the central Po Plain (northern Italy) due tu fluvial modifications and anthropogenic activities, Geomorphology 44, pp. 361-373.
- Marcott S.A., Shakun J.D., Clark P.U., Mix A.C., 2013. A Reconstruction of Regional and Global Temperature for the Past 11,300 Years, Science, 8 March 2013, vol. 339, 1198-1201.
- Mariani L., 2000. Applicazioni agrometeorologiche della serie storica di Mantova: possibilità e limiti. In: Atti del convegno Due secoli di osservazioni meteorologiche a Mantova. Mantova, ERSAL, Milano, 191-201.
- Mariani, L., 2000. Fluttuazioni del clima e cambiamento climatico - alcune ipotesi per l'area padano-alpina, Notiziario dell'Associazione Italiana di Agrometeorologia, in Rivista di Irrigazione e Drenaggio, 47, n.2, pp. 57-58.
- Mariani L., 2002. Agrometeorologia, Clesav, Milano, 192 pp.
- Mariani L., 2004. Agricoltura e cambiamento climatico, Arpa rivista, rivista dell'Arpa Emilia

Romagna, n.2, anno VII, 2004, pp 44-45.

- Mariani L., 2006. Clima ed agricoltura in Europa e nel bacino del Mediterraneo dalla fine dell'ultima glaciazione. RIVISTA DI STORIA DELL'AGRICOLTURA, vol. anno XLVI, n.2, p. 3-42, ISSN: 0557-1359
- Mariani L., Parisi S., Failla O., Cola G., Zoia G., Bonardi L., 2009. Tirano (1624-1930): A long time series of harvest dates for grapevine. Italian Journal of Agrometeorology, vol. 1, p. 7-16.
- Mariani L., Parisi S.G., Cola G., 2009. Space and time behavior of climatic hazard of low temperature for single rice crop in the mid latitude. INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY, vol. 29, p. 1862-1871, ISSN: 0899-8418, doi: 10.1002/joc.1830
- Mariani L. 2009. agricoltura come governo del ciclo del carbonio. In: Atti del convegno "Clima energia società". Roma - sede centrale del CNR - Piazzale Aldo Moro,7 - 00185, Roma, 13-14 ottobre 2009, p. 359-368, MILANO:21mo SECOLO editore, Via Piacenza 24, ISBN: 978-88-87731-47-7
- Mariani, Parisi S.G., Cola G., Failla O., 2012. Climate change in Europe and effects on thermal resources for crops. International Journal of Biometeorology, ISSN: 0020-7128, doi: 10.1007/s00484-012-0528-8
- Mariani L., 2012. Nel Dryas recente le radici dei miti del Diluvio e del Giardino dell'Eden? La rivoluzionaria scoperta di Göbekli Tepe, http://www.climatemonitor.it/?p=22706 (sito visitato il 2 ottobre 2014).
- Mariani L., 2013 (a). Agronomia, CUSL, Milano, 342 pp.
- Mariani L., 2013 (b). L'origine degli etruschi, http://www.climatemonitor.it/?p=30412 (sito visitato il 2 ottobre 2014).
- Mariani L., Failla O., Forni G., 2014. Le leguminose da granella - il lascito dei popoli della mezzaluna fertile, Origine, n. 2/2014, 2-5.
- Matsuoka Y. et al., 2002. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. Proc Natl Acad Sci USA 99:6080-6084.
- Monterin U., Il clima della Alpi ha mutato in epoca storica?, Roma, 1937.
- Monnin, E., E.J. Steig, U. Siegenthaler, K. Kawamura, J. Schwander, B. Stauffer, T.F. Stocker, D.L. Morse, J.-M. Barnola, B. Bellier, D. Raynaud, and H. Fischer. 2004. Evidence for substantial accumulation rate variability in Antarctica during the Holocene, through synchronization of CO2 in the Taylor Dome, Dome C and DML ice cores. Earth and Planetary Science Letters, 224, 45-54, doi: 10.1016/j.epsl.2004.05.007.
- Oliva A., 1930. La politica granaria di Roma antica, Piacenza, Federazione Italiana dei Consorzi Agrari, 285 pp.
- Oppenheimer C., 2003. Climatic, environmental and human consequences of the largest known historic eruption: Tambora volcano (Indonesia) 1815, Progress in Physical Geography June 2003 vol. 27 no. 2 230-259.
- Parisi S. G., Mariani L., Cola G., 2014. Extreme rainfall in the Lombardy region, Italian Journal of Agrometeorology, 1/2014.
- Parisi S.G., Antoniazzi M.M., Cola G., Lovat L., Mariani L., Moreale G., Zoltan K., Calò A., 2014. Spring thermal resources for grapevine in Koszeg (Hungary) deduced from a very long pictorial time series (1740 – 2009), Climatic change, DOI 10.1007/s10584-014-1220-2.
- Pinhasi R., Fort J., Ammerman A.J., 2005. Tracing the Origin and Spread of Agriculture in Europe, Plos biology, Vol. 3, Issue 12, 2220-2228.
- Pinna M., 1972. La climatologia, Torino.

- Pinna M., Le variazioni del clima, dall'ultima grande glaciazione alle prospettive per il XXI° secolo, Milano, 1996.
- Pinto H., Sharwood R.E., Tissue D.T., Ghannoum O., 2014. Photosynthesis of C3 , C3 –C4 , and C4 grasses at glacial CO_2, Journal of Experimental Botany, Vol. 65, No. 13, pp. 3669–3681, 2014.
- Pryor F., 2011. The making of the British landscape, Penguin books, 811 pp.
- Reinau, E. Praktischen Kohlensäuredüngung in Gärtnerei und Landwirtschaft. Springer, Berlin 1927.
- S.L. Vartanyan, K.A. Arslanov, T.V. Tertychnaya, S.B. Chernov, Radiocarbon Dating Evidence for Mammoths on Wrangel Island, Arctic Ocean, until 2000 BC, Radiocarbon Volume 37, Number 1, 1995, pp. 1-6.
- Richards M., 2003. The neolithic invasion of Europe, Annu. Rev. Anthropol. 2003. 32:135–62. Annu. Rev. Anthropol. 2003. 32:135–62.
- Sage, R.F., 1995. Was low atmospheric CO_2 during the Pleistocene a limiting factor for the origin of agriculture? Global Change Biol. 1, 93–106.
- Sage R.F., Coleman J.R., 2001. Effects of low atmospheric CO2 on plants: more than a thing of the past, TRENDS in Plant Science Vol.6 No.1 January 2001.
- Salamini F., Ozkan H., Brandolini A., Schafer-Pregl R., Martin W., 2002. Genetics and geography of wild cereals domestication in the near East, Nature, vol. 3, june 2002.
- Sandars N.K. (a cura di), 1997. L'epopea di Gilgames, Milano.
- Soares P. et al., 2010. The Archaeogenetics of Europe, Current Biology 20, R174–R183, February 23, 2010
- Scafetta N., 2012. Testing an astronomically based decadal-scale empirical harmonic climate model versus the IPCC (2007) general circulation climate models. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 80, 124-137.
- Shaviv N., 2005. On climate response to changes in the cosmic ray flux and radiative budget, Journal of geophysical research, vol. 110, A08105, doi:10.1029/2004JA010866
- Smith B.D., 1997. The Initial Domestication of Cucurbita pepo in the Americas 10,000 Years Ago, Science, vol. 276, 9 may 1997, 232-234.
- Soon W., Posmentier E., Baliunas S., 2000. Climate hypersensitivity to solar forcing?, Annales geophysicae, pp 583-588, 2000
- Stöckle C.A., Donatelli M., Nelson R., 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model, European Journal of Agronomy, Volume 18, Issues 3-4, January 2003, Pages 289-307
- Trouet V., Esper J., Graham N.E., Baker A., Scourse J.D., Frank D.C., 2009. Persistent Positive North Atlantic Oscillation Mode Dominated the Medieval Climate Anomaly, Science, 3 april 2009, Vol 324
- U.S. census Bureau, 2014. World Population Information (http://www.census.gov/ipc/www/world.html)
- van Geel B., Renssen H., van der Plicht J., 1999. Solar forcing of climate change: evidence from the past, in atti del Workshop on paleodata and climate models, 8-9 marzo 1999, GKSS – KNMI.
- Vandenberghe J., Isarin F.R.B. , Renssen H., 2001. Rapid climatic warming: paleodata analysis and modeling, Global and planetary change, 30, pp. 1-5.
- Veizer L., Godderis J., Francois L.M., 2000. Evidence for decoupling of atmospheric CO2 and global climate during the Phanerozoic eon: Nature, v. 404, pp. 698-701.
- Werner P.C., Gerstengarbe F.W., Fraedrich K., Oesterle K., 2000. Recent climate change in

the North Atlantic/European sector, International Journal of Climatology, Vol. 20, Issue 5, 2000, pp. 463-471.

- Wick, L., G. Lemcke and M. Sturm, Evidence of late Glacial and Holocene climatic change and human impact in eastern Anatolia: high resolution pollen, charcoal, isotopic, and geochemical records from the laminated sediments of Lake Van, Turkey, The Holocene, 13,5, 665 – 675.
- Zoia D., 2004. Vite e vino in Valtellina e Valchiavenna - La risorsa di una valle alpina, Sondrio, 2004.
- Zolitschka B., 1998. A 14.000 year sediment yield record from western Germany based on annually laminated lake sediments, Geomorphology, 22, 1998, pp. 1-17.
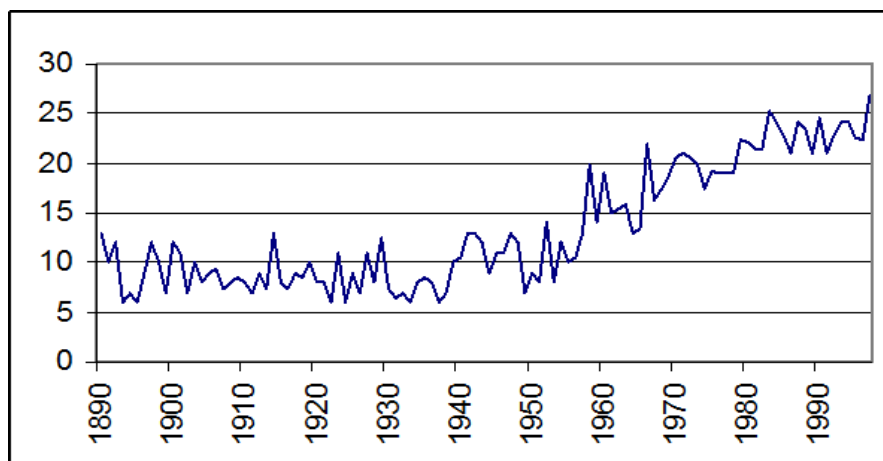
Figura 1 *– produzione media di frumento negli Stati Uniti d'America (quintali di granella per ettaro) dal 1890 al 1997 (fonte: USDA).*
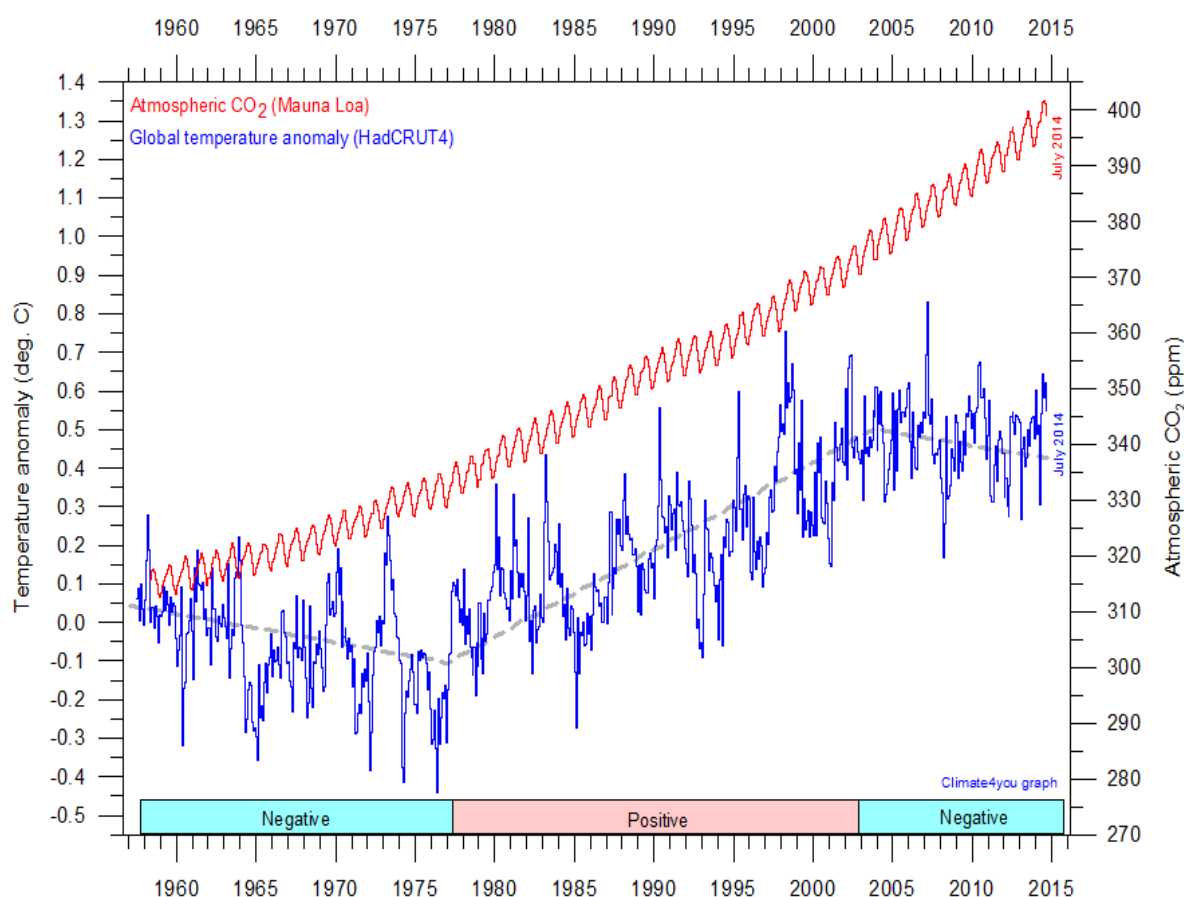
Figura 2 - *Il diagramma aggiornato al luglio 2014 illustra l'andamento dei livelli di CO2 atmosferica (http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/) e delle temperature globali (fonte: database HadCRUT4 - http://www.cru.uea.ac.uk/). Si noti che dal 1957 ad oggi CO2 e temperature globali appaiono in fase solo nel 46% dei casi (26 anni su 57). Si osservi inoltre che ogni anno i livelli di CO2 calano di circa 6 ppmv per effetto dell'attività dei vegetali spontanei e coltivati dell'emisfero boreale (emisfero delle terre) [fonte: prof. Ole Humlun - climate4you.com].*
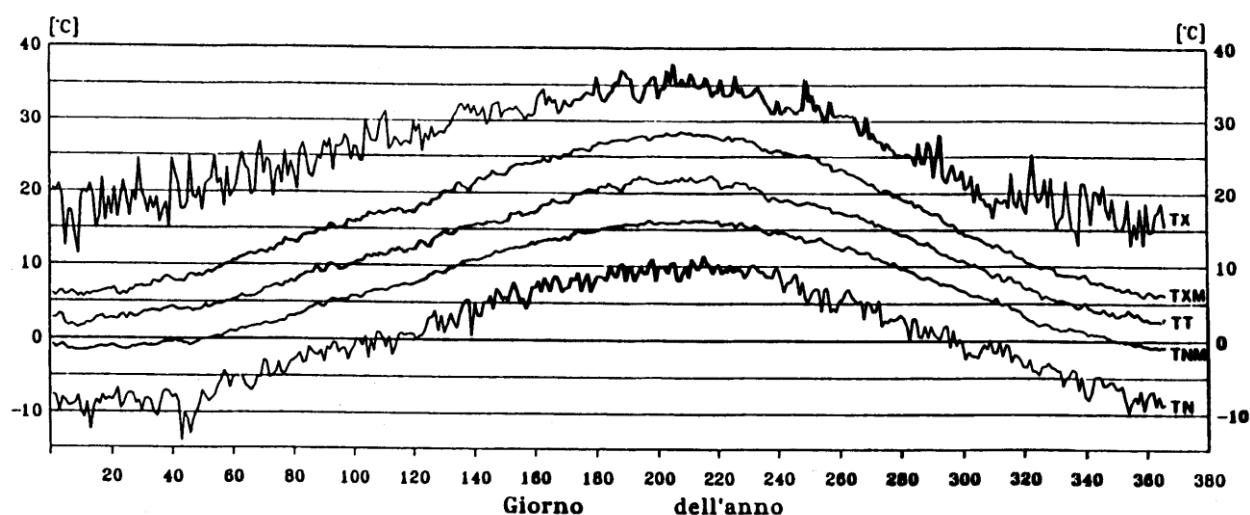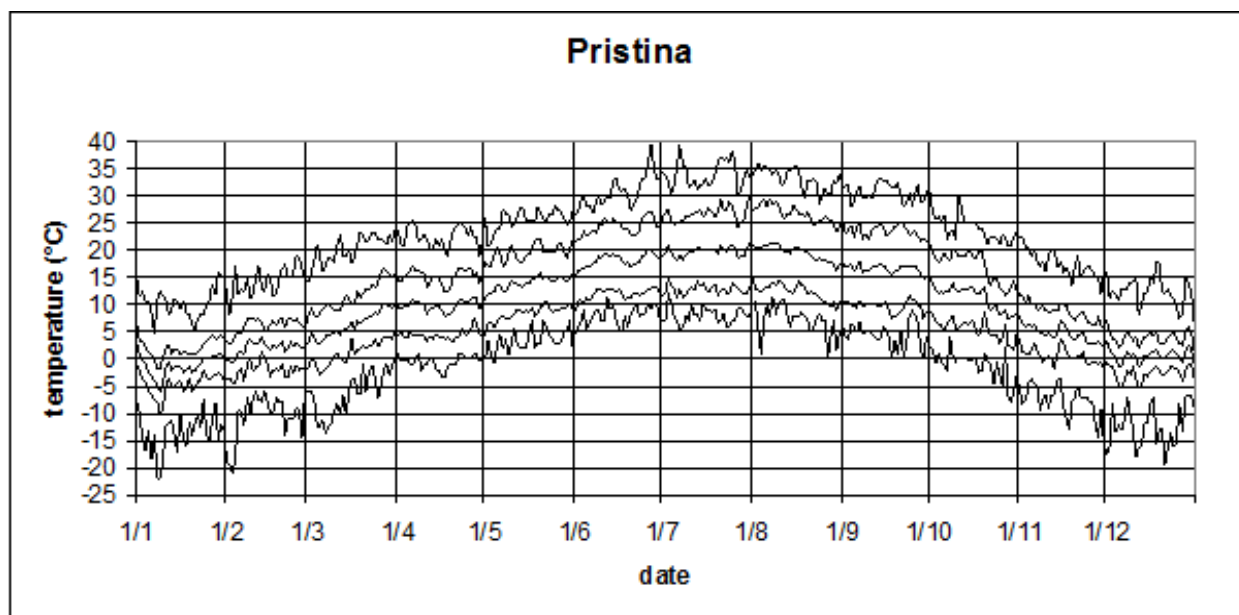
Figura 3 *– Il diagramma in alto presenta per i 365 giorni dell'anno (in ascissa) le temperature medie ed estreme per la stazione di Pristina - Kosovo (periodo di riferimento 1977-1991) e per quella di Lugano - CH (periodo di riferimento 1901-1990 - fonte: MeteoSvizzera). I due diagrammi riportano dall'alto verso il basso le seguenti linee: massima assoluta, media delle massime, media delle medie, media delle minime e minima assoluta).*

GSR [MJ m⁻²]

PAR [MJ m⁻²]

Modello di vegetale

Area foglie(LAI)

APAR [MJ m⁻²]

RUE

GASS - Assimilaz. Lorda [g CH_2O]

Respiraz/convers/trasloc — AT

PNA - Assimilazione Potenziale [g CH_2O]

Limitaz termica — AT

PNA_L1 - Assimilaz. limitata 1 [g CH_2O]

Limitaz idrica — AT, RR, RH, GSR, WV

PNA_L2 - Assimilaz. Limitata 2 [g CH_2O]

Limitaz nutrienti — AT, WC

PNA_L3 - Assimilaz. Limitata 3 [g CH_2O]

Altre limitaz (parassiti, malerbe,.. — AT, RR, RH, GSR, WV

NPP - Produzione Finale Netta [g CH_2O]

Ripartizione assimilati — Fase fenologica — AT

Frutti | Foglie | Fusto | Radici | ACCUMULO

Variabili di stato: indicano lo stato del sistema

Variabili di flusso: "rubinetti" che regolano i flussi da una variabile di stato e la successiva

Variabili guida: guidano il sistema verso un certo risultato (forzanti esterne)

Figura 4 *- Modello di pianta coltivata. Per spiegazioni si veda nel testo (legenda: GSR=radiazone solare globale, AT=temperatura dell'aria, RR= precipitazione, RH=umidità relativa, WC=contenuto idrico del suolo, Wv=velocità del vento, PAR= radiazione utile al processo di fotosintesi, APAR= frazione delle PAR intercettata dalla chioma, RUE= grammi di zucchero foto sintetizzati per unità di APAR.*
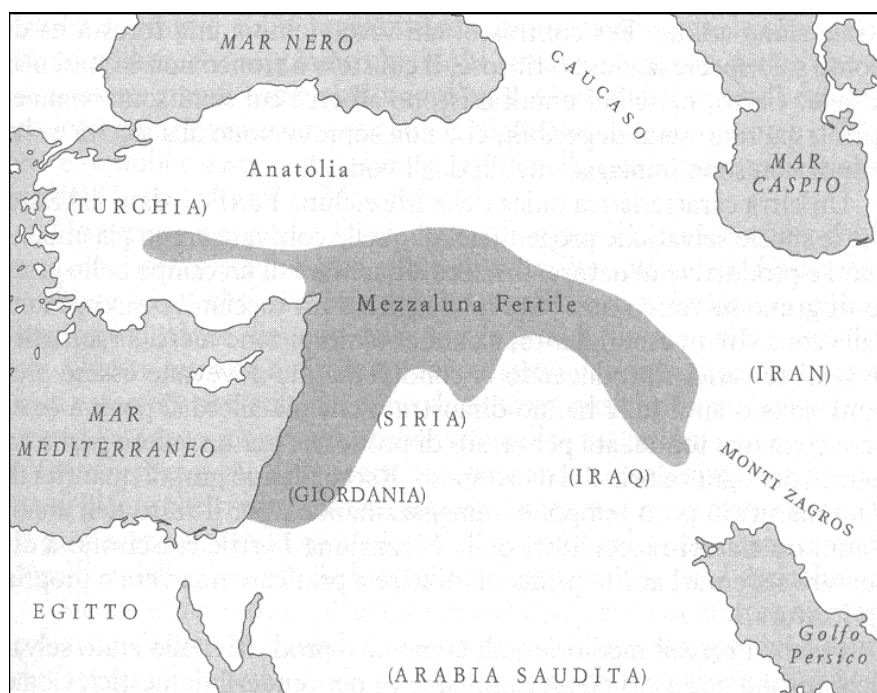
Figura 5 *– la mezzaluna fertile, culla della rivoluzione neolitica (Diamond, 1997).*
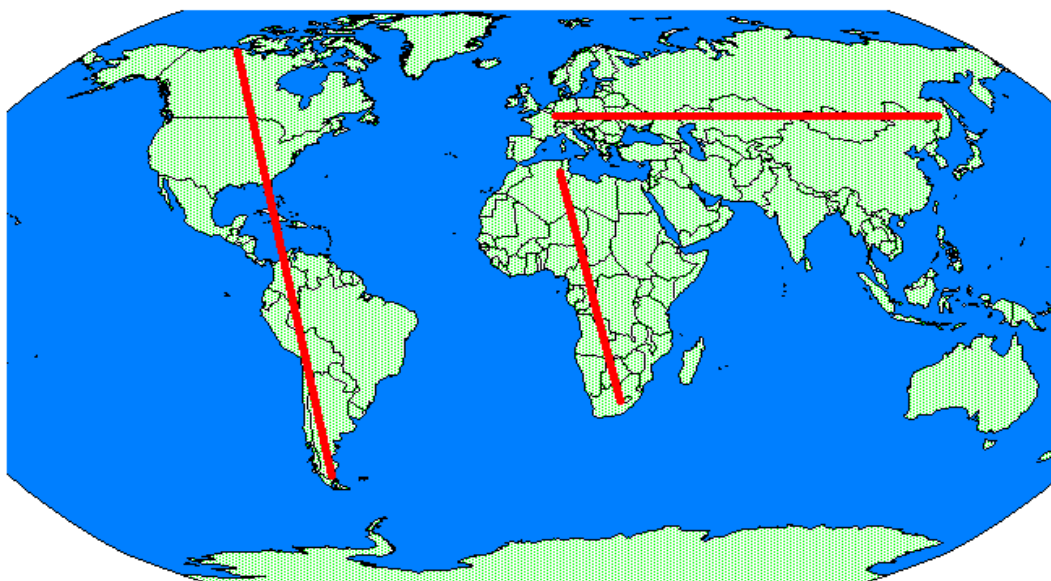
Figura 6 *– L'asse principale dei diversi continenti dimostra come l'Eurasia abbini alla vastità un asse in prevalenza est-ovest, il che favorì la propagazione di specie vegetali ed animali lungo fasce latitudinali e climatiche omogenee (Diamond, 1998).*
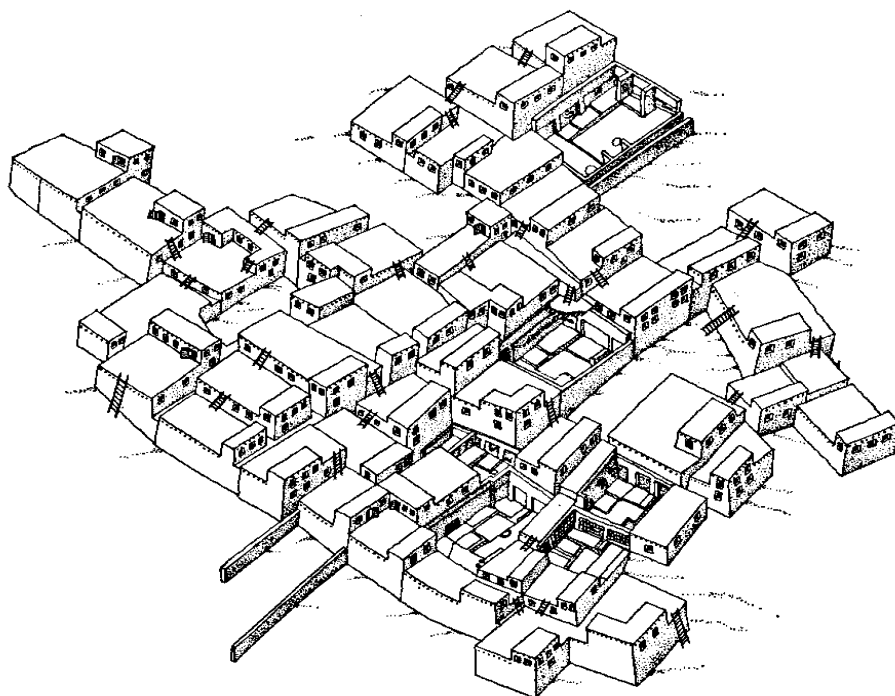
Figura 7 *– La città neolitica di Catal Huyuk in Turchia (Cavalli – Sforza, 1983). Catal Huyuk è una collinetta di strati sovrapposti e nello stato più antico si sono rinvenuti i resti di una cittadina neolitica di 9000 anni fa, abitata da 5000 abitanti dediti all'agricoltura. Non c'erano strade e nelle case si entrava dall'alto.*
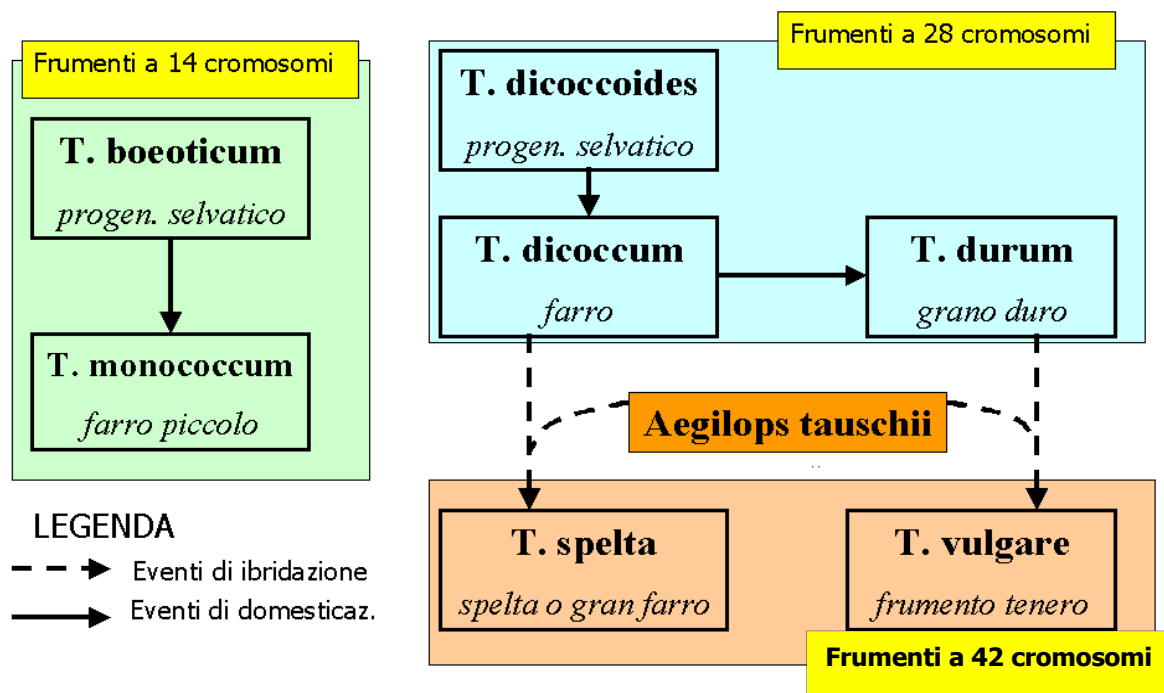
***Figura 8** – filogenesi del genere triticum (Salamini et al., 2002 - modificato).*
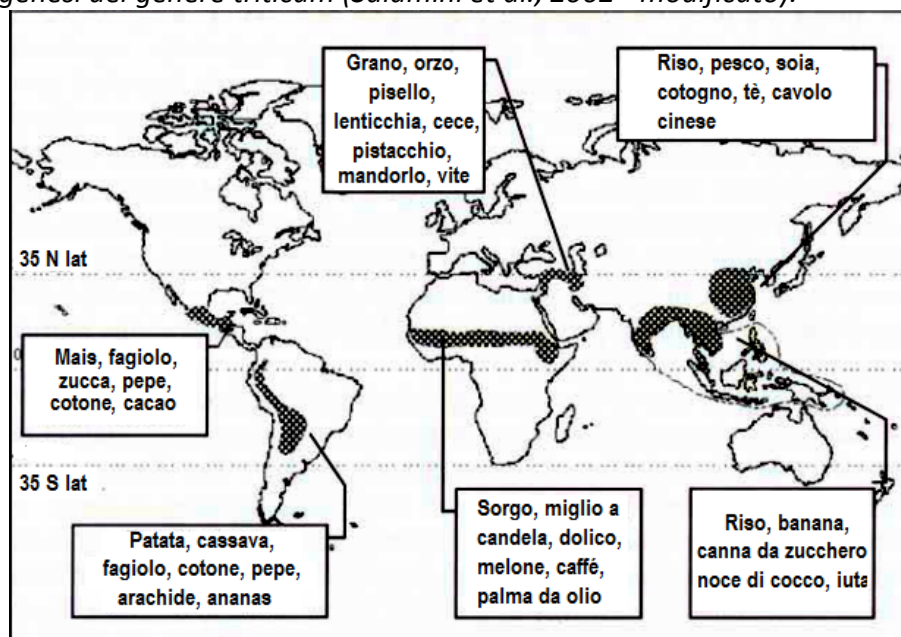
***Figura 9** – Principali centri di domesticazione con elencate alcune delle principali colture in essi domesticate (Gepts, 2004, modificato).*
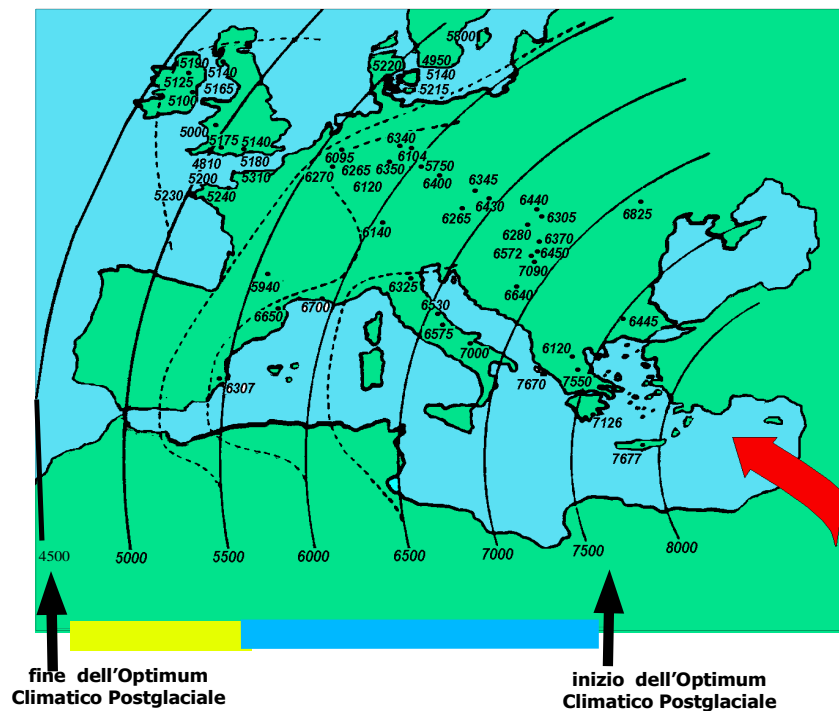
Figura 10 *- Il cammino dell'agricoltura dalla mezzaluna fertile verso Ovest ha luogo in gran parte luogo durante l'Optimum Climatico Postglaciale, la cui fase siccitosa finale coincise da un lato con la colonizzazione delle umide terre irlandesi e dall'altro con la decadenza dell'agricoltura nordafricana. Le date, espresse in anni da oggi, sono riferite a siti preistorici datati con carbonio 14. La velocità di avanzata media è di 500 km ogni 500 anni. (da Ammerman e Cavalli Sforza, 1973 - modificato).*
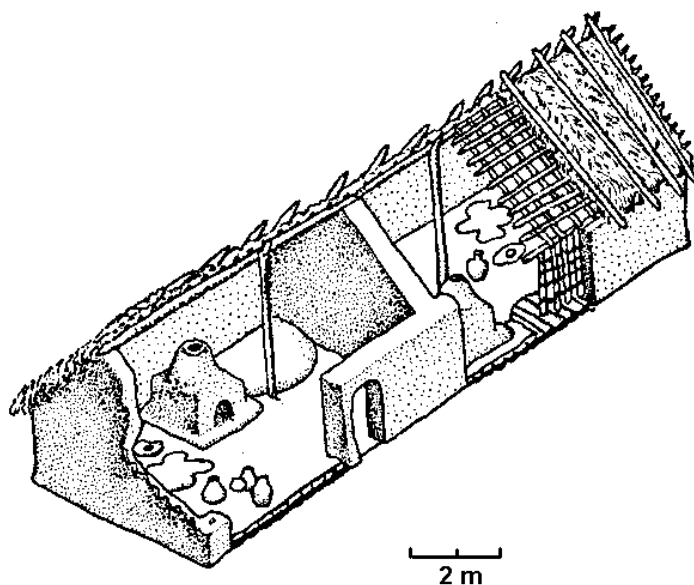
***Figura 11** – abitazione neolitica europea; resti di case di questo tipo sono stati rinvenuti in Ungheria, Austria e Francia (Cavalli – Sforza, 1993).*
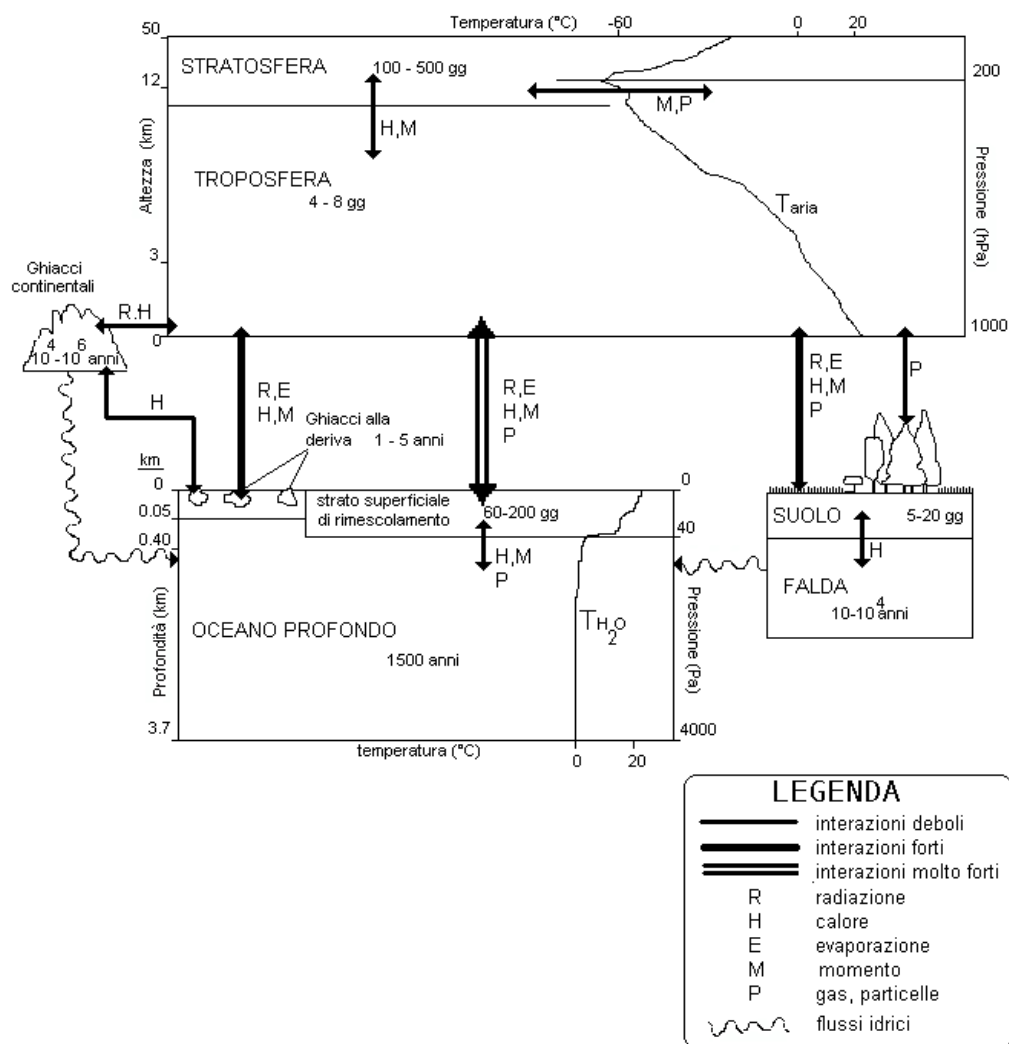
Figura 12 *– il sistema climatico, i principali sottosistemi che lo compongono e gli scambi (di materia, energia, momento, ecc.) in atto fra essi. In due casi (troposfera e strato di rimescolamento oceanico) la scala dei tempi rappresenta il tempo occorrente per ridurre i coefficienti di autocorrelazione al di sotto della soglia di significatività mentre negli altri casi rappresenta il tempo di permanenza delle sostanze caratteristiche (da Flohn e Fantechi, 1984 - modificato).*
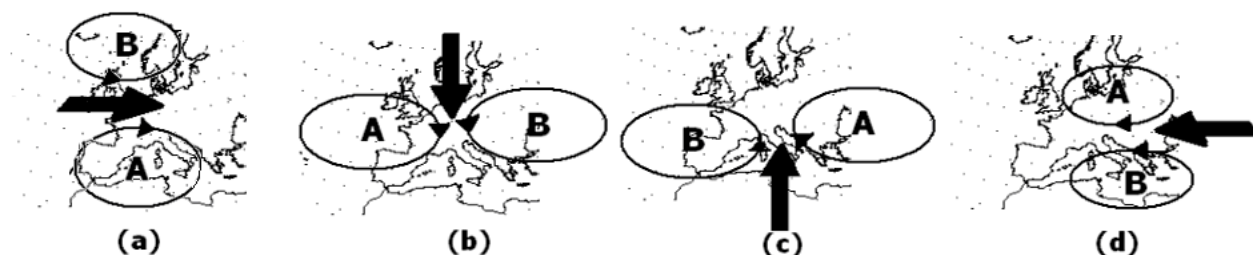
Figura 13 - *I grandi motori della circolazione europea in quattro diverse posizioni caratteristiche.*
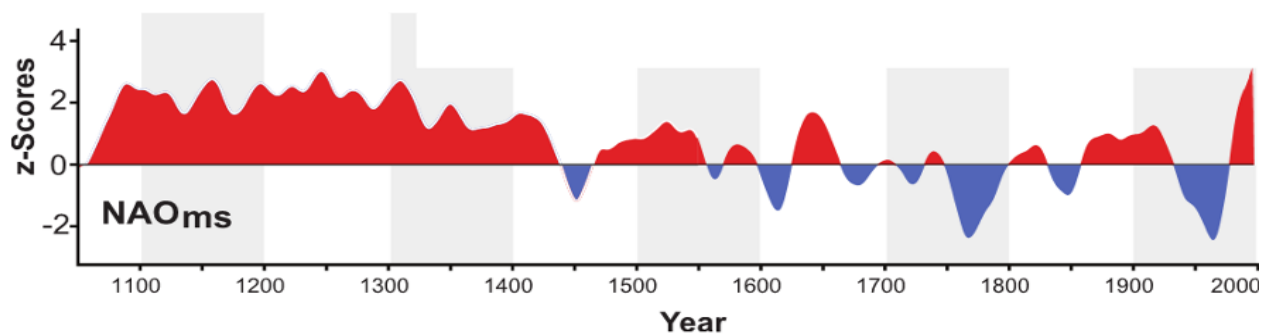
Figura 14 – *Si noti il netto predominio del regime a westerlies intense che ha caratterizzato la fase di intenso regresso glaciale dell'optimum climatico medioevale (1050-1450) e che caratterizza altresì il clima attuale (dopo il cambiamento climatico del 1987).*
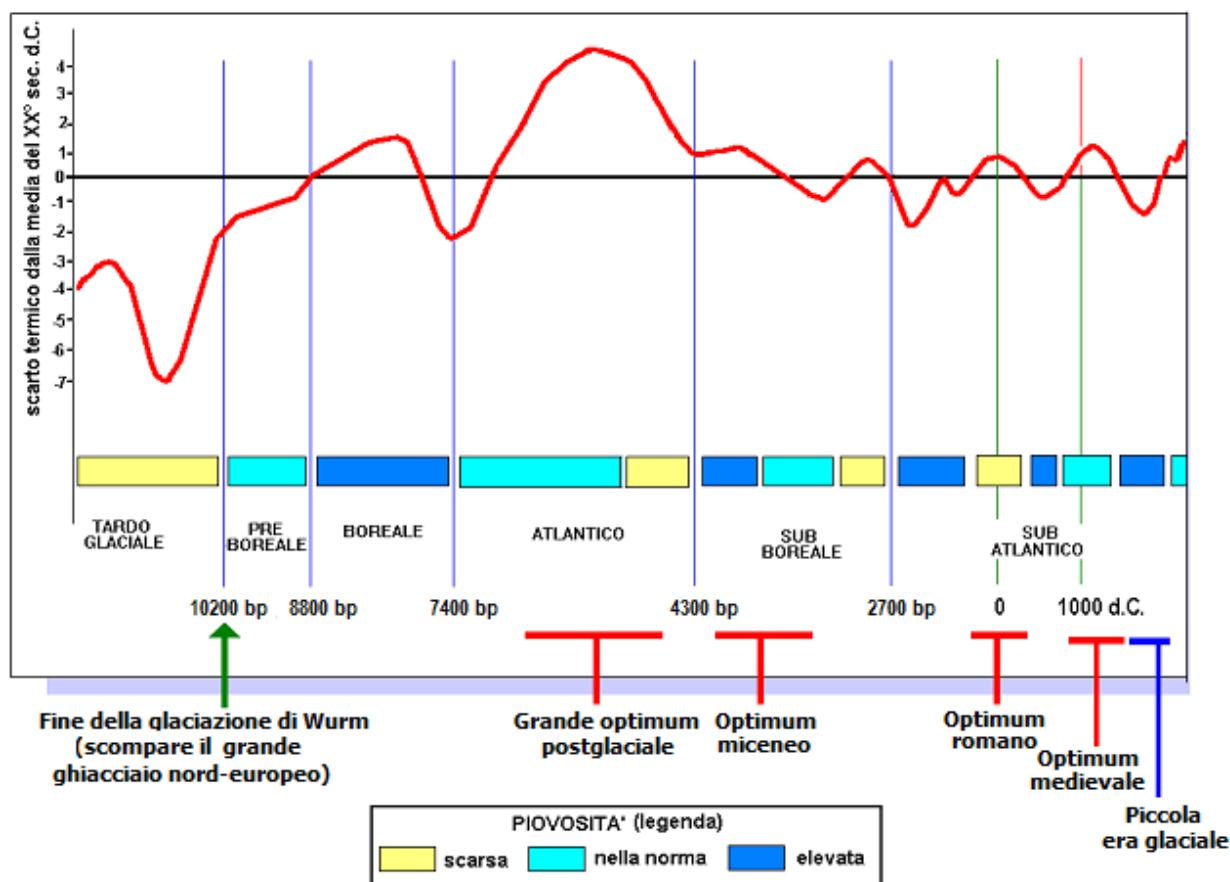
Figura 15 *– Diagramma termo-pluviometrico dell'Olocene in Europa. Vi si evidenzia l'andamento Termico (linea rossa) e quello pluviometrico (bande gialle, azzurre e blu).*
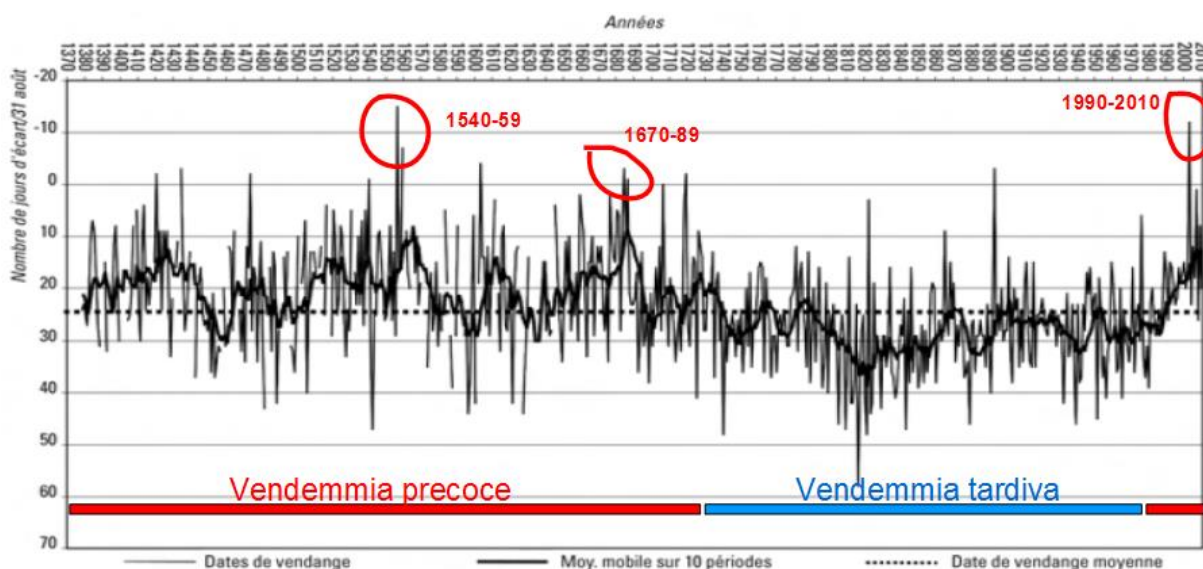
Fig. 8 : *Dates d'ouverture des vendanges à Beaune (1371-2010)*

Figura 16 *– date di vendemmia a Beaune – Cote d'or – Borgogna (FR) dal 1371 ad oggi. Le date in ordinata sono espresse come giorni di scarto dal 31 agosto, per cui la data di vendemia media (linea tratteggiata orizzontale) cade il 23 settembre. La vendemmia più tardiva è quella del 1816 (28 ottobre) mentre la più precoce è quella del 1556 (16 agosto) Si noti anche l'estrema variabilità intrannuale che è uno degli aspetti più caratteristici del clima europeo passato ed attuale [Fonte Labbé T., Gaveau F., 2013. Les dates de vendange à Beaune (1371-2010). Analyse et données d'une nouvelle série vendémiologique, Revue historique, n° 666, 2013/2, p. 333-367].*
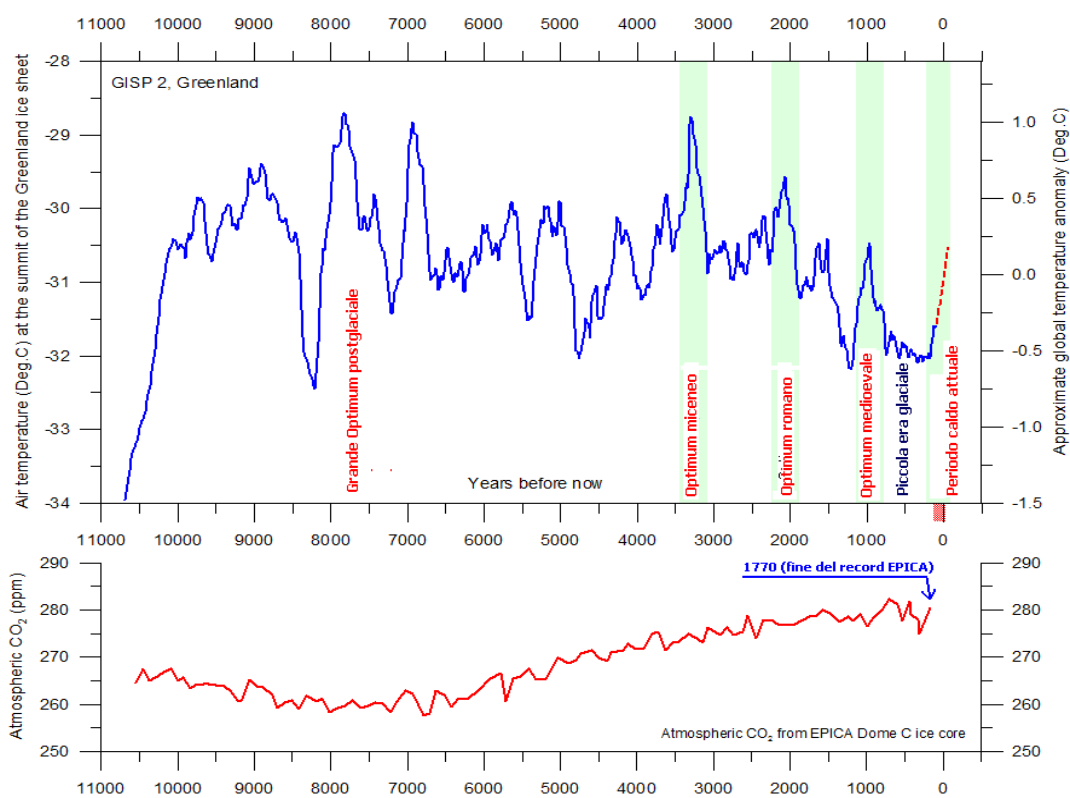
Figura 17 *– In alto: temperatura dell'aria nell'altopiano centrale groenlandese, riconstruita da Alley (2004) analizzando i dati della carota glaciale GISP2. In basso: livelli atmosferici di* CO_2 *ricavati da EPICA Dome C Ice Core in Antartide (Monnin et al. 2004).*

Figura 18 - *Le tappe dell'espansione dei norvegesi nell'atlantico settentrionale.*

1969-1988
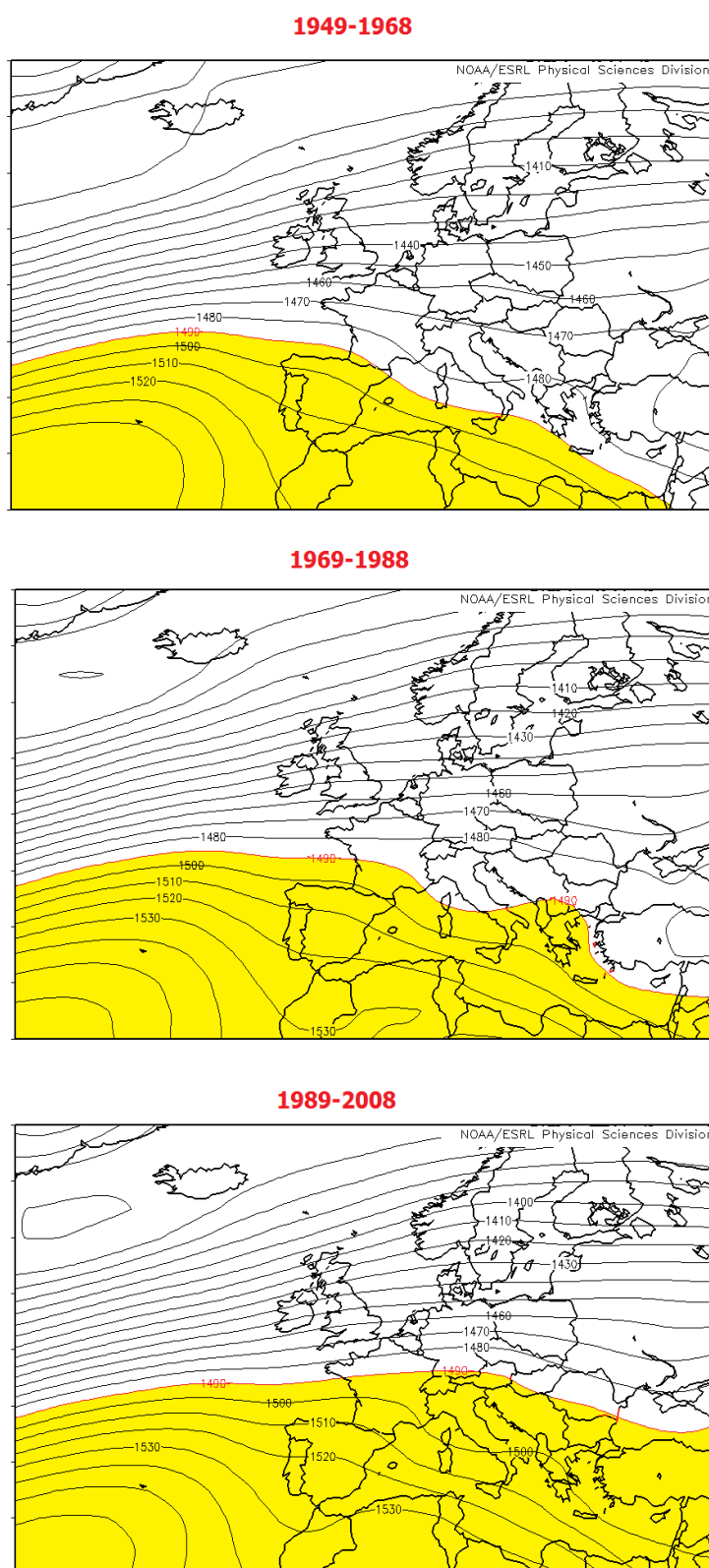
Figura 19 – *Area mediamente dominata dagli anticicloni subtropicali (area in giallo) nei ventenni 1949-68, 1969-88 e 1989-2008. Si noti che nell'ultimo dei tre ventenni in questione gli anticicloni*

tendono mediamente a dominare anche l'area centro-europea a clima oceanico, spostando il proprio limite dal centro Italia alla Francia settentronale.
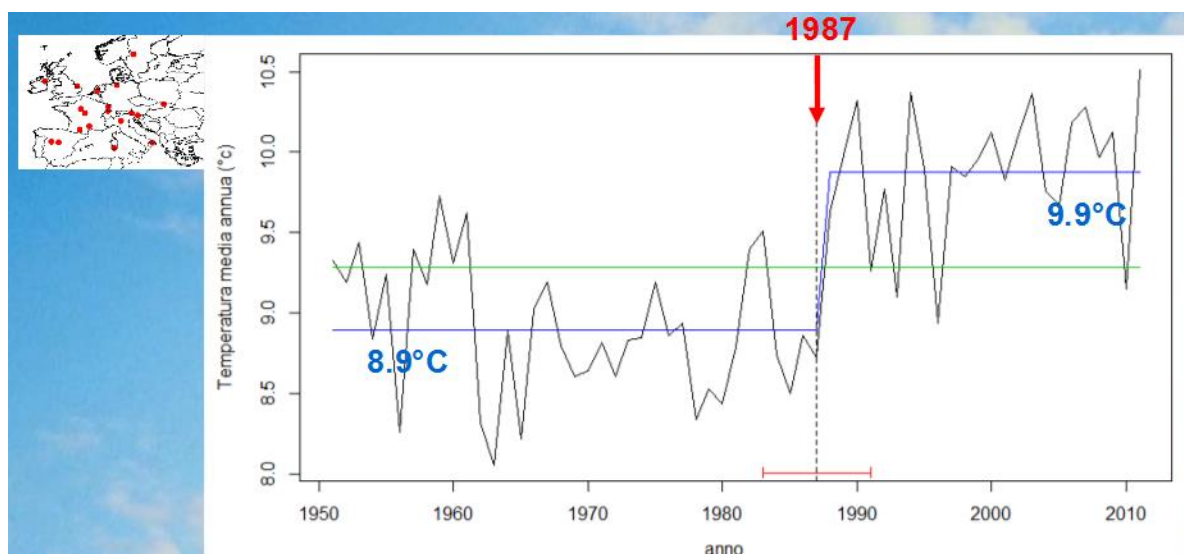
Figura 20 *- Il cambiamento climatico europeo del 1987 analizzato con riferimento alla temperatura media delle 20 stazioni della carta sulla sinistra. L'analisi di discontinuità, eseguita mediante il test statistico di Bai e Perron, indica che una probabilità del 99% la discontinuità termica si verifica tra 1983-1999 (linea orizzontale rossa), e che l'anno più probabile di tale discontinuità è 1987 (linea tratteggiata verticale). Come risultato di questa discontinuità, tecnicamente classificabile come "cambiamento climatico brusco", la temperatura media per le 20 stazioni europee considerate (linea blu orizzontale) cambia bruscamente da 8,9 ° C nel periodo precedente a 9,9 ° C per il periodo dopo il 1987 .*

Figura 21 *- Effetti del cambiamento climatico del 1987 su temperature, radiazione solare e precipitazione.*
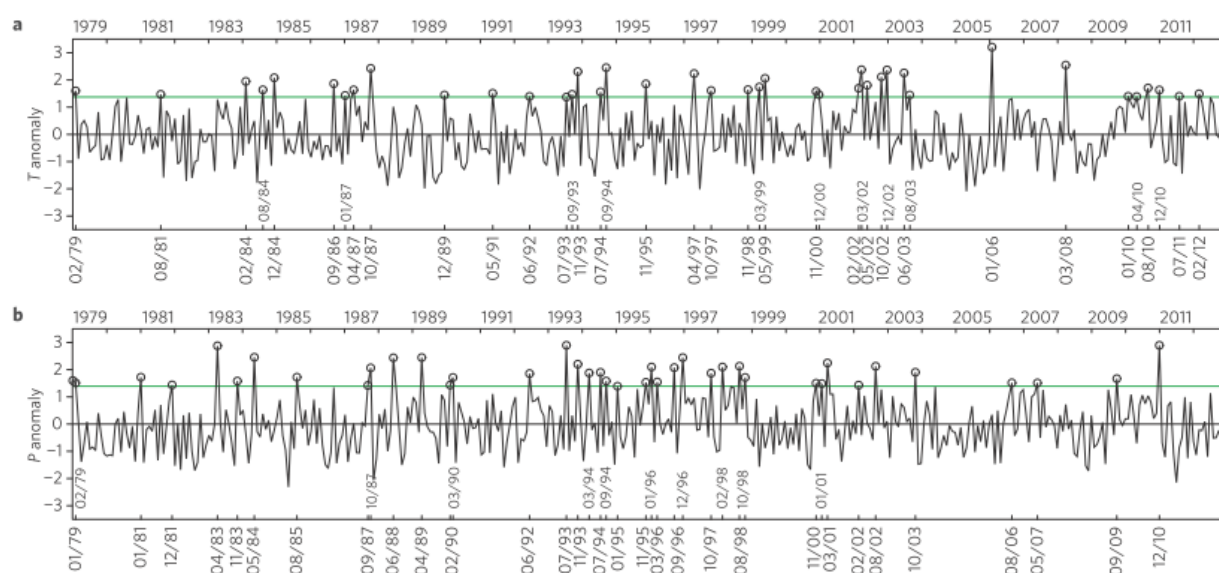
Figura 22 *- Anomalie delle temperature (a) e delle precipitazioni (b) per il periodo, 1979-2012. I 40 mesi con i livelli di anomalia più rilevanti sono identificati dai circolini ed etichettati sull'asse delle ascisse. La linea verde indica il valore di soglia olte il quale gli eventi sono considerati estremi (Screen e Simmonds, 2014).*
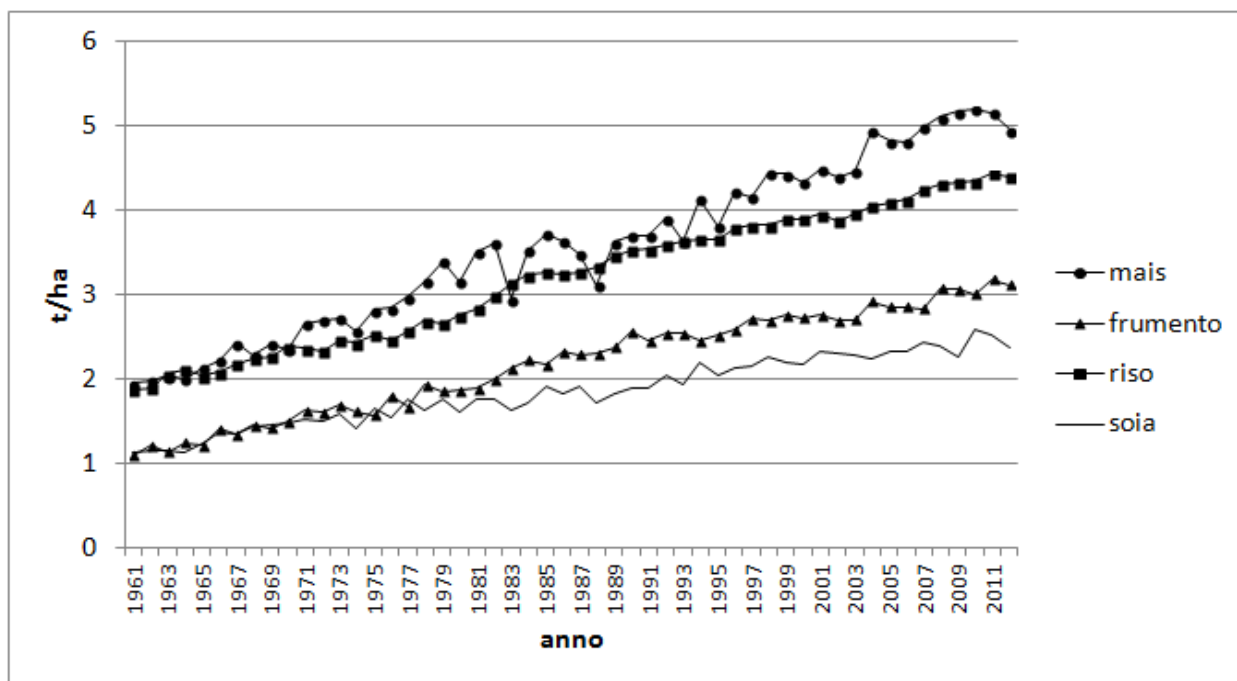
Figura 23 *– Il graduale incremento delle rese unitarie (t/ha) delle quattro principali colture agrarie (le grandi commodities che garantiscono la sicurezza alimentare globale) si mantiene anche negli anni più recenti. Se il clima fosse davvero divenuto più estremo le ripercussioni sulle rese sarebbero state evidenti. (fonte: Faostat - http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/E).*
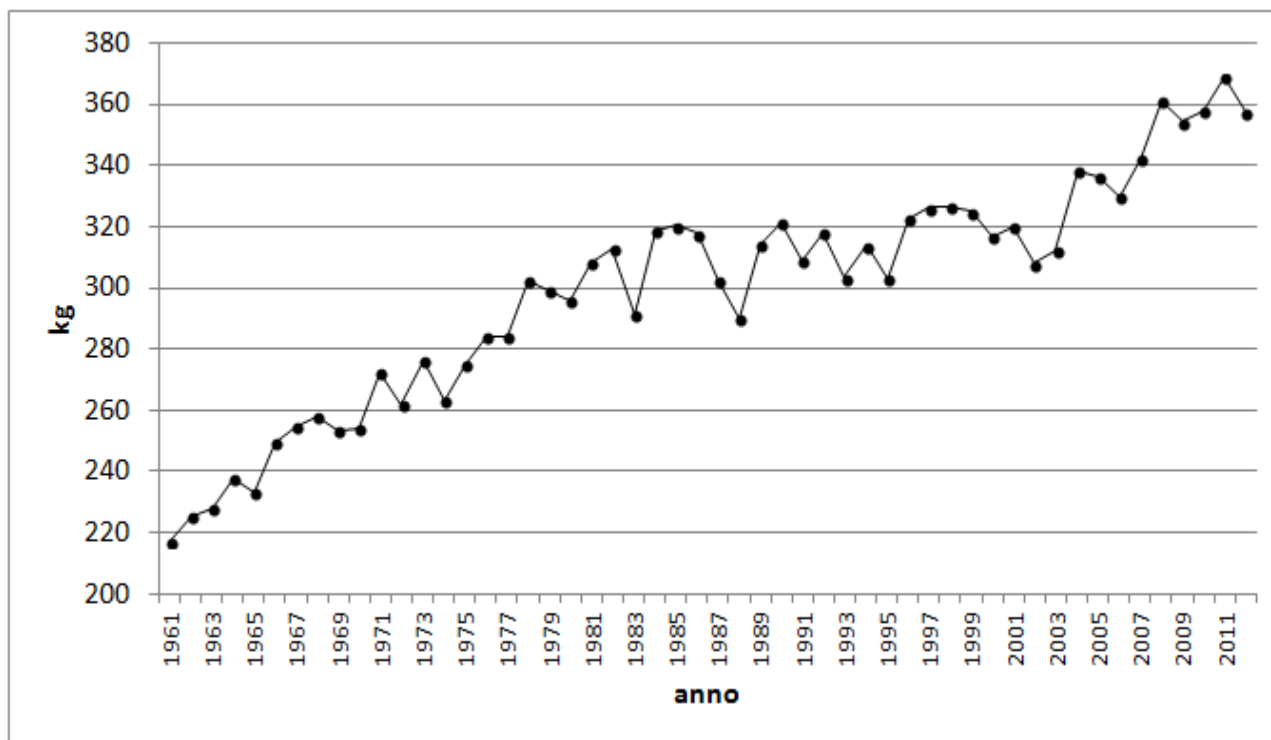
Figura 24 *– Produzione mondiale procapite di mais+soia+frumento+riso (1961-2012). Anche in questo calso non si colgono tracce evidenti di eventi climatici estremi (fonte: Faostat - http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/E).*
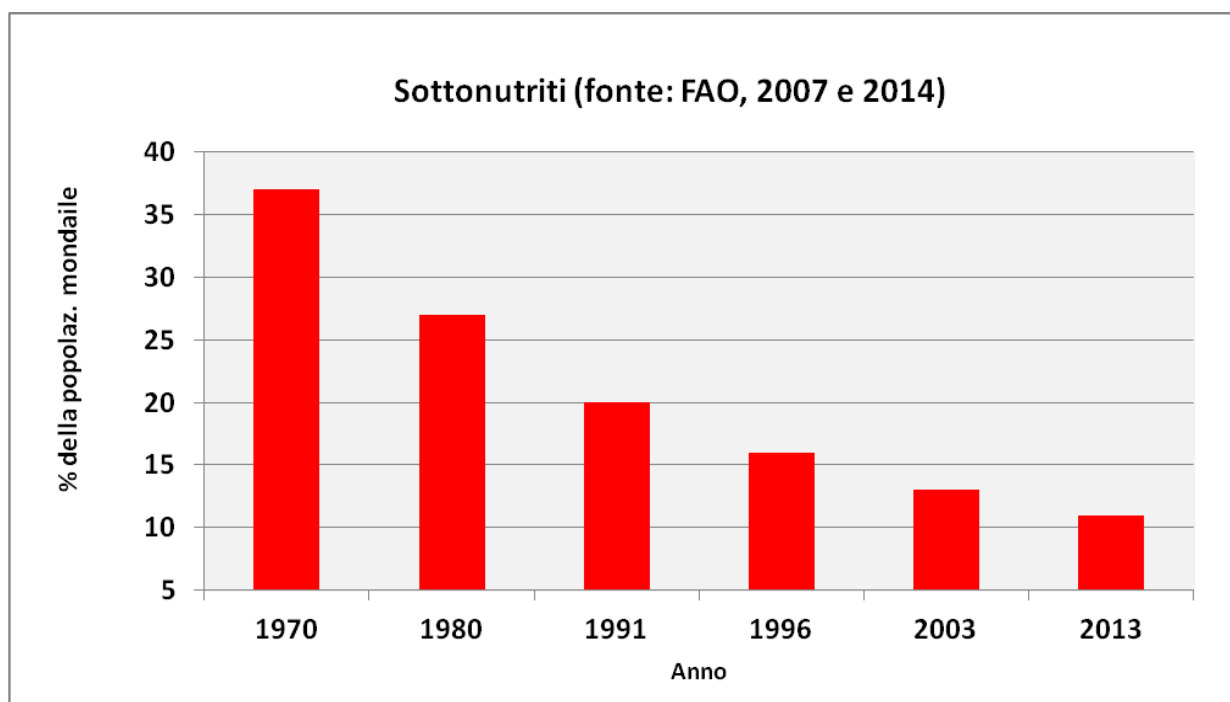
Figura 25 *– Andamento dei sottonutriti dal 1970 ad oggi.*

anno 1200	anno 1500	anno 1900	anno 2000
altezza di 150-170 cm	altezza di 150-170 cm	altezza di 160-180 cm	altezza di 70-100 cm
Benedetto Antelami Il mietitore - Battistero di Parma ine XII°-inizio XIII° secol	Pieter Bruegel,1565 http://www.abcgallery. com	Facoltà di Agraria – Milano – materiale storico Istituto di Agronomia	http://www.limagrain. com

Figura 26 *– Evoluzione della taglia dei frumenti dal XII° al XX° secolo. Tale evoluzione indica l'enorme ruolo del miglioramento genetico nell'incremento quali-quantitativo delle produzioni agrarie. Infatti in frumenti alti 150-180 cm la paglia costituiva la maggior parte della biomassa aerea mentre nei frumenti d'oggi la maggior parte delle biomassa aerea è composta di granella. Inoltre varietà molto alte non possono ricevere concimazioni azotate rilevanti (necessarie per incrementare le rese) in quanto sono a fortissimo rischio di allettamento, un fenomeno che determina gravi perdite produttive e forti attacchi di muffe vettrici di tossine assai dannose per l'uomo.*

Figura 27 *– Due fra i protagonisti della riduzione di taglia dei cereali e cioè a sinistra Nazzareno Strampelli (qui ripreso mentre lavora aiutato dalla moglie) ed a destra Norman Borlaug, che per tale attività oltremodo utile per garantire la sicurezza alimentare globale ricevette il premio*

Nobel per la pace nel 1970. La riduzione di tagli fu ottenuta incrociando varietà a taglia elevata con varietà nane giapponesi (Akakomugi nel caso di Strampelli, Norin 10 nel caso di Borlauh)

.

I MAIS BT

Piralide (Ostrinia nubilalis) — Diabrotica (Diabrotica virgifera virgifera)

Non BT — BT — BT coleoptera — Non BT

http://www.nature.com/scitable/knowledge/library/use-and-impact-of-bt-maize-46975413
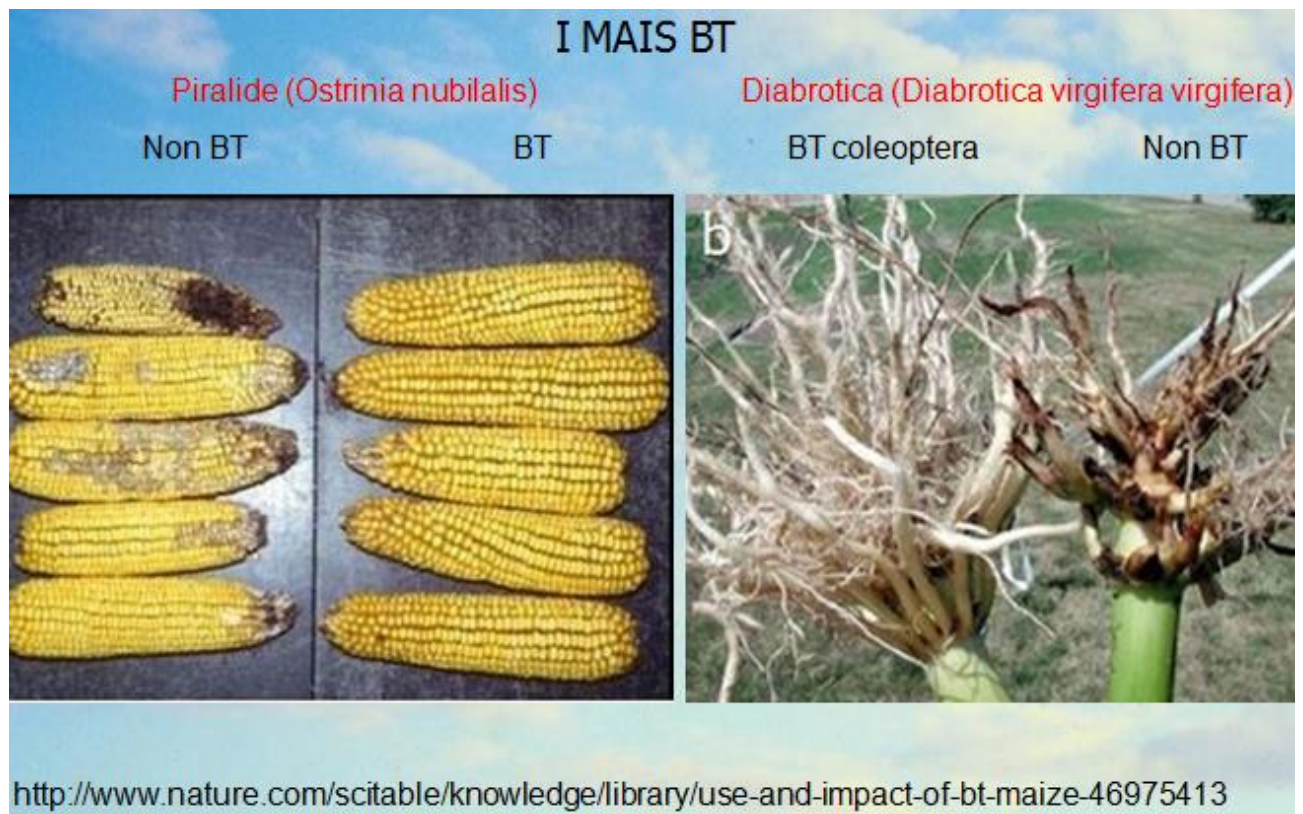
Figura 28 *– Le tecniche di ingegneria genetica, figlie della scoperta della struttura tridimensionale del DNA operata da Watson e Crick consentono oggi di trasferire uno o pochissimi geni che sono necessari per pervenire al risultato voluto. I mais BT sono Ogm che producono una proteina del batterio Bacillus thuringiensis, innocua per l'uomo ma mortale per gli insetti parassiti del mais. A sinistra le spighe del mais BT non presentano muffe produttrici di sostanze tossiche per l'uomo (aflatossine, fumonisine), il cui attacco si verifica sulle rosure della piralide del mais. A destra il mais BT presenta apparato radicale molto ben sviluppato perché non attaccato dalle larve di diabrotica, un coleottero parassita.*

Figura 29 *– I nostri progenitori agricoltori, scegliendo le spighe più gandi ed appariscenti, hanno selezionato ibridi interspecifici (veri e priori OGM ante-litteram) costituiti da incroci fra graminacee del genere Triticum e graminacee del genere Aegilops (infestanti dei cereali). In tal modo dai grani primitivi a 14 cromosomi sono nati il grano duro (28 cromosomi) e quello tenero (42 cromosomi).*

VI secolo a.C.	anno 1904	anno 2010	anno 2010
Età del ferro - Bedolina (Val Camonica) - roccia 17B1. Lavorazione principale (aratro con vomere a vanga in ferro trainato da equini) e lavorazioni con zappette per la rifinitura del letto di semina.	3 Agosto 1904 – Aratura a Pittolo (PC) (fonte: Failla e Fumi, 2006)	2010 – Aratura con aratro polivomere (fonte Moro Pietro meccanica srl)	2010 – Raccolta meccanica del pomodoro nel ravennate (http://www.agricolabellavista.it/p54-azienda-bellosi/)

Figura 30 *– Evoluzione nelle agrotecniche. Il caso della meccanizzazione. Sequenze analoghe sono ad esempio definibili per il diserbo (da quello manuale – monda o scerbatura – a quello con diserbanti chimici), per la nutrizione delle piante (dal maggese alla concimazione letamica a quella con concimi minerali di sintesi) e per la difesa antiparassitaria (dall'assenza totale di difesa a quella con fitofarmaci).*